



TUGAS AKHIR - MO 141326

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK *SCOURING* DI  
SEKITAR *ARTIFICIAL REEF* BENTUK HEKSAGONAL**

HARISH WIRAYUHANTO

NRP. 4312100050

Dosen Pembimbing

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017



FINAL PROJECT- MO 141326

## **EXPERIMENTAL STUDY OF SCOURING CHARACTERISTIC AROUND HEXAGONAL ARTIFICIAL REEF**

HARISH WIRAYUHANTO

NRP. 4312100050

Supervisors :

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2017

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK *SCOURING* DI SEKITAR  
*ARTIFICIAL REEF* BENTUK HEKSAGONAL**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**HARISH WIRAYUHANTO**

NRP. 4312100050

Disetujui Oleh :

1. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D

(Pembimbing 1)

2. Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng

(Pembimbing 2)

3. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc

(Penguji 1)

4. Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D

(Penguji 2)

5. Sujantoko, S.T., M.T.

(Penguji 3)



Surabaya, Januari 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



# **STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK SCOURING DI SEKITAR ARTIFICIAL REEF BENTUK HEKSAGONAL**

**Nama Penulis : Harish Wirayuhanto**

**NRP : 4312100050**

**Jurusan : Teknik Kelautan FTK - ITS**

**Dosen Pembimbing : Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D**

**Dr. Eng Kriyo Sambodho, S.T.,M.Eng.**

## **Abstrak**

Terumbu karang buatan (*artificial reef*) merupakan bangunan atau struktur yang diletakkan dibawah air yang memiliki fungsi seperti terumbu karang alami. Selain itu, terumbu karang buatan juga berfungsi sebagai bangunan pemecah gelombang ambang benam (*submerged breakwater*). Ketika diletakkan pada perairan dangkal, struktur akan rentan mengalami masalah scouring dan penurunan tanah yang dapat menimbulkan kegagalan struktur. Dalam penelitian ini dilakukan serangkaian percobaan untuk mengetahui karakteristik scouring akibat variasi jarak *gap* struktur dan variasi gelombang pada terumbu buatan bentuk heksagonal dengan permodelan fisik skala 1:10. Hasil penelitian dapat dimanfaatkan dalam perencanaan perlindungan struktur akibat masalah scouring. Dari hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS, diperoleh untuk jarak gap 1D, scouring terbesar terjadi pada belakang struktur, sedangkan pada jarak gap 0D terjadi pada bagian depan struktur. Pada bagian tengah struktur untuk jarak gap 0D, didominasi kejadian sedimentasi, sedangkan pada jarak gap 1D, didominasi kejadian scouring. Kedalaman scouring maksimum adalah 5.3 cm dan nilai terkecilnya 2.9 cm. Dari keseluruhan percobaan diperoleh kedalaman scouring maksimum terjadi pada struktur dengan jarak gap 1D sedangkan minimum pada jarak gap 0D.

Kata kunci : Heksagonal, Jarak gap, Permodelan fisik, Scouring, Terumbu buatan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

*EXPERIMENTAL STUDY OF SCOURING CHARACTERISTIC AROUND  
HEXAGONAL ARTIFICIAL REEF*

**Name** : Harish Wirayuhanto  
**NRP** : 4312100050  
**Department** : Ocean Engineering FTK - ITS  
**Supervisors** : Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D  
Dr. Eng Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

**ABSTRACT**

Artificial reef is a structure placed underwater which has similar function with natural reef. In addition, artificial reef also serves as a submerged breakwater. When placed in shallow water, the structure is vulnerable to scouring and soil subsidence which can cause structural failure. In this research, serial testing have been conducted to determine the scouring characteristic for variation of gap, and variation of waves, for hexagonal artificial reef model with scale of 1:10. The results of this research can guide the planning of structural protection against scouring. From a series of research conducted in Ocean Environment and Ocean Energy Laboratory, Ocean Engineering Department, FTK, ITS, it can be summarized that for a gap distance of 1D, the maximum scouring occurs behind the structure, whereas for a gap distance of 0D, it occurs at the front of the structure. At the center of the structure, for a gap distance of 0D, sedimentation occurs dominantly, whereas for a gap distance of 1D, scouring dominated the process. Maximum scouring depth is 5.3 cm and the minimum is 2.9 cm. The maximum scouring depth occurs when the gap is 1D and minimum when the gap is 0D.

**Keywords** : Artificial Reef, Gap, Hexagonal, Physical model, Scouring.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Studi Eksperimen Karakteristik Scouring di Sekitar Artificial Reef Bentuk Heksagonal”**.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan oleh penulis sebagai bahan penyempurnaan laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi di Indonesia khususnya dalam bidang rekayasa pantai.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis juga tidak lupa menyampaikan rasa terima kasih yang begitu mendalam kepada pihak-pihak yang tak kenal lelah mendukung penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini serta atas semua hal yang diberikan, baik secara langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada :

1. Kedua orang tua saya, yang selalu mendukung dan menjadi semangat serta motivasi saya. Keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan motivasi.
2. Bapak Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing pertama yang dengan komitmen tinggi dan kesabaran membimbing dan memotivasi penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr.Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing kedua atas bimbingan dan arahnya untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc., selaku kepala Laboratorium Pantai dan Lingkungan Laut atas dukungannya selama melakukan penelitian Tugas Akhir yang saya lakukan.
5. Bapak Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D, selaku kepala Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut atas perhatian dan dukungannya selama melakukan penelitian Tugas Akhir yang saya lakukan.
6. Bapak M. Mochtar Arif dan bapak Aris Resdiantoro selaku teknisi Laboratorium Lingkungan dan Energi laut serta Laboratorium Pantai dan Lingkungan Laut atas dukungannya baik secara materi maupun moral kepada penulis selama melakukan penelitian Tugas Akhir ini,
7. Teman-teman di Laboratorium Pantai dan Lingkungan Laut dan Varuna atas semangat dan bantuannya dalam penelitian yang penulis lakukan.
8. Seluruh staf administrasi Jurusan Teknik Kelautan atas keramahannya dan bantuannya selama penulis mengurus Tugas Akhir ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xix

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Landasan Teori .....	6
2.2.1 Terumbu Buatan (Artificial Reef).....	6
2.2.2 Teori Gelombang Reguler (Regular Wave).....	7
2.2.3 Teori Gelombang Acak (Irregular Wave).....	8
2.2.4 Scouring .....	9

2.2.5	Mekanisme Scouring .....	10
2.2.6	Scouring Akibat Gelombang .....	12
2.2.7	Parameter Non-dimensional .....	13
2.2.7.1	Keulegan-Carpenter Number (KC) .....	13
2.2.7.2	Mobility Parameter.....	14
2.2.8	Permodelan Fisik .....	15
2.2.9	Analisa Regresi Linear Sederhana .....	16
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	17
3.2	Penjelasan Diagram Alir Penelitian .....	18
3.2.1	Studi Literatur.....	18
3.2.2	Persiapan Material Uji.....	18
3.2.3	Persiapan Pengujian .....	22
3.2.4	Pengujian dan Pencatatan Kedalaman Scouring .....	25
3.2.5	Analisa dan Pembahasan .....	27
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN	
4.1	Data Gelombang.....	29
4.2	Profil Hasil Percobaan untuk Gelombang Reguler .....	32
4.3	Profil Hasil Percobaan untuk Gelombang Irreguler .....	37
4.4	Perbandingan Karakteristik Scouring Akibat Gelombang .....	42
4.5	Analisa Scouring Maksimum .....	46
4.6	Perbandingan dengan Penelitian Lain .....	53
BAB V	PENUTUP	
5.1	Kesimpulan .....	55
5.2	Saran.....	56

DAFTAR PUSTAKA .....	57
----------------------	----

#### LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Proses Olah Data Gelombang dengan WareLab .....	A1
LAMPIRAN B	Hasil Plot Kontur Untuk Setiap Pengujian .....	B1
LAMPIRAN C	Potongan Melintang Kontur Untuk Setiap Pengujian .....	C1
LAMPIRAN D	Pembacaan Kedalaman Scouring Interval 5 Menit.....	D1
LAMPIRAN E	Perhitungan Scouring Maksimum .....	E1
LAMPIRAN F	Biodata Penulis .....	F1

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1	Variasi Periode, Ketinggian, dan Jenis Gelombang Serta Jarak Gap Struktur	20
Tabel 4.1	Hasil Nilai Olahan WareLab	31
Tabel 4.2	Pencatatan Kedalaman Scouring Maksimum Tiap Pengujian	46

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Bentuk Model Terumbu Buatan Bentuk Heksagonal	2
Gambar 2.1	Jenis-Jenis Terumbu Karang Buatan <i>(<a href="http://www.coastalwiki.org/wiki/Artificial_reefs">http://www.coastalwiki.org/wiki/Artificial_reefs</a>)</i>	6
Gambar 2.2	Parameter Gelombang Reguler <i>(Triatmodjo, 1999)</i>	7
Gambar 2.3	Definisi Gelombang Irreguler <i>(Bhattacharyya, 1972)</i>	8
Gambar 2.4	Mekanisme Scouring Akibat Pola Aliran di sekitar Monopile <i>(Miller, 2003 dalam Sucipto, 2011)</i>	11
Gambar 2.5	Foto Eksperimen dengan (a) Aliran Searah Dalam Kondisi Clear-Water, (b) Aliran Searah Dalam Kondisi Live-Bed, (c) Pengaruh Arus dan Gelombang Dalam Kondisi Live-Bed <i>(Hartvig, 2010 dalam Brink, 2014)</i>	11
Gambar 2.6	Kecepatan orbital dekat dasar untuk ambang pergerakan sediment dibawah gelombang berosilasi <i>(Komar dan Miller, 1974 dalam Hales, 1980)</i>	13
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3.2	Dimensi Model Terumbu Buatan Bentuk Heksagonal	18
Gambar 3.3	Permodelan tampilan 3D Terumbu Buatan Heksagonal	19
Gambar 3.4	Cetakan Model Terumbu Buatan Heksagonal	19
Gambar 3.5	Flume Tank	21
Gambar 3.6	Wave Probe	21
Gambar 3.7	Laser Meter	22
Gambar 3.8	Grafik Analisa Gradasi Sampel Pasir Percobaan dengan d50 sebesar 0.28 mm	23
Gambar 3.9	Grafik Kalibrasi Wave Probe	24
Gambar 3.10	Grafik Kalibrasi Laser Meter	24
Gambar 3.11	Bentuk Model Heksareef yang akan diuji	25
Gambar 3.12	Sketsa Pengujian di Kolam Uji – Tampak Samping	25

Gambar 3.13	Sketsa Pengujian di Kolam Uji – Tampak Atas	26
Gambar 3.14	Ilustrasi Model Terumbu Buatan di dalam Wave Flume, Gap 0D (atas) dan Gap 1D (bawah) untuk tampak samping dan tampak atas	26
Gambar 3.15	Kondisi Asli Model Terumbu Buatan didalam Wave Flume, Gap 0D (atas) dan Gap 1D (bawah)	27
Gambar 4.1	Tampilan Excel Macro Refana untuk Mengambil Nilai Tegangan dari Time History (.TMH)	29
Gambar 4.2	Penempatan Hasil Nilai Output Refana Pada Satu Folder	30
Gambar 4.3	Tampilan WareLab	31
Gambar 4.4	Gambar Kontur untuk Percobaan ke 4 (0D) untuk Sebelum Percobaan (kiri), Menit ke 60 (tengah), dan Selisih Kedalaman (kanan)	32
Gambar 4.5	Potongan Melintang Profil Sisi Kiri (10 cm) untuk Percobaan ke 4 dengan Interval Waktu 20 Menit	33
Gambar 4.6	Potongan Melintang Profil Tengah (25 cm) untuk Percobaan ke 4 dengan Interval Waktu 20 Menit	34
Gambar 4.7	Potongan Melintang Profil Sisi Kanan (40 cm) untuk Percobaan ke 4 dengan Interval Waktu 20 Menit	34
Gambar 4.8	Gambar Kontur untuk Percobaan ke 8 (1D) untuk Sebelum Percobaan (kiri), Menit ke 60 (tengah), dan Selisih Kedalaman (kanan)	35
Gambar 4.9	Potongan Melintang Profil Sisi Kiri (10 cm) untuk Percobaan ke 8 dengan Interval Waktu 20 Menit	35
Gambar 4.10	Potongan Melintang Profil Tengah (25 cm) untuk Percobaan ke 8 dengan Interval Waktu 20 Menit	36
Gambar 4.11	Potongan Melintang Profil Sisi Kanan (40 cm) untuk Percobaan ke 8 dengan Interval Waktu 20 Menit	36



Gambar 4.12	Gambar Kontur untuk Percobaan ke 11 (0D) untuk Sebelum Percobaan (kiri), Menit ke 60 (tengah), dan Selisih Kedalaman (kanan)	37
Gambar 4.13	Potongan Melintang Profil Sisi Kiri (10 cm) untuk Percobaan ke 11 dengan Interval Waktu 20 Menit	38
Gambar 4.14	Potongan Melintang Profil Tengah (25 cm) untuk Percobaan ke 11 dengan Interval Waktu 20 Menit	38
Gambar 4.15	Potongan Melintang Profil Sisi Kanan (40 cm) untuk Percobaan ke 11 dengan Interval Waktu 20 Menit	39
Gambar 4.16	Gambar Kontur untuk Percobaan ke 14 (1D) untuk Sebelum Percobaan (kiri), Menit ke 60 (tengah), dan Selisih Kedalaman (kanan)	40
Gambar 4.17	Potongan Melintang Profil Sisi Kiri (10 cm) untuk Percobaan ke 14 dengan Interval Waktu 20 Menit	40
Gambar 4.18	Potongan Melintang Profil Tengah (25 cm) untuk Percobaan ke 14 dengan Interval Waktu 20 Menit	41
Gambar 4.19	Potongan Melintang Profil Sisi Kanan (40 cm) untuk Percobaan ke 14 dengan Interval Waktu 20 Menit	41
Gambar 4.20	Perbandingan Profil Menit ke 60 untuk setiap Percobaan Dengan Nilai Gap 0D dan Gelombang Reguler	43
Gambar 4.21	Perbandingan Profil Menit ke 60 untuk setiap Percobaan Dengan Nilai Gap 1D dan Gelombang Reguler	43
Gambar 4.22	Perbandingan Profil Menit ke 60 untuk setiap Percobaan Dengan Nilai Gap 0D dan Gelombang Ireguler	45
Gambar 4.23	Perbandingan Profil Menit ke 60 untuk setiap Percobaan Dengan Nilai Gap 1D dan Gelombang Ireguler	45
Gambar 4.24	Ilustrasi Perhitungan Lebar Efektif Struktur	47
Gambar 4.25	Diagram Pencar Data Scouring Maksimum Terhadap Tinggi Gelombang (Hi)	48

Gambar 4.26	Diagram Pencar Data Scouring Maksimum Terhadap Periode Gelombang (T)	49
Gambar 4.27	Diagram Pencar Data Scouring Maksimum Terhadap Lebar Efektif Puncak Struktur (W)	49
Gambar 4.28	Diagram Pencar Data Scouring Maksimum Terhadap Kedalaman Air (h)	50
Gambar 4.29	Diagram Pencar Data Scouring Maksimum Terhadap Panjang Gelombang (L)	50
Gambar 4.30	Diagram Pencar Hasil Data Percobaan	51
Gambar 4.31	Diagram Pencar Pendekatan Kedalaman Scouring Maksimum untuk Depan dan Belakang Struktur	53
Gambar 4.32	Hasil Penelitian Scouring Testik (2009), Pratikino (2015) dan Hexareef	54

# BAB I

## PENDAHULUAN

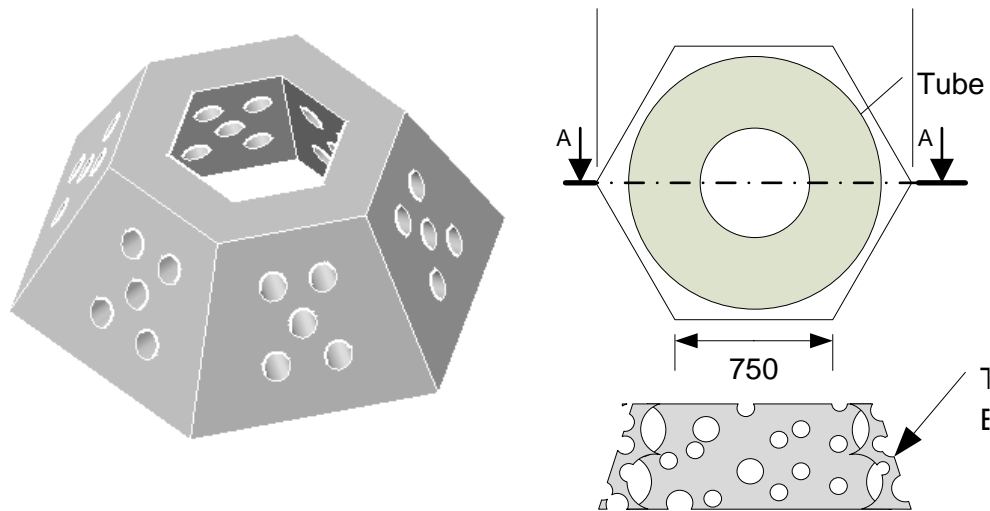
### 1.1 Latar Belakang

Kerusakan terumbu karang mempengaruhi kehidupan berbagai jenis organisme laut, terutama pada kawasan perairan tropis yang berdampak pada hasil laut yang menurun. Restorasi terumbu karang perlu dilakukan untuk mengembalikan fungsi dan kegunaannya. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengembalikan kondisi terumbu karang menjadi kondisi awal adalah dengan transplantasi karang dan menggunakan teknologi terumbu karang buatan. Terumbu karang buatan (*artificial reef*) adalah benda-benda atau struktur bangunan yang diletakkan pada dasar air yang memiliki karakteristik menyerupai terumbu karang alami. Menurut Armono (2004), benda atau struktur bangunan ini digunakan untuk memberikan tempat perlindungan bagi hewan-hewan laut namun juga berfungsi sebagai bangunan pemecah gelombang ambang benam (*submerged breakwater*) yang mereduksi energi gelombang datang sebelum mengenai pantai. Terdapat beberapa jenis terumbu buatan yang telah dikembangkan diantaranya *Aquia Reef*, *Turtle Reef*, *Reef Ball*, *Ultra Ball*, *Bay Ball*, *Square Reef*, dan *Bottle Reef*. Dari model-model tersebut dikembangkan kembali dengan bentuk baru berpenampang segi enam atau hexagonal atau yang dapat di sebut pula sebagai *Hexareef*.

Terumbu buatan yang sekaligus berfungsi sebagai *submerged breakwater* memiliki beberapa kelebihan diantaranya memiliki nilai estetika yang bagus untuk lingkungan pantai yang digunakan untuk pariwisata, selain itu juga memiliki kemampuan untuk penentuan aliran air yang penting dalam menjaga kualitas air. Disisi lain, *submerged breakwater* masih dapat dilalui gelombang *overtopping* dan hanya mengurangi energi gelombang yang mengenai pantai, sehingga dimungkinkan memiliki laju transport sedimen yang tinggi (Testik, 2009).

*Submerged breakwater*, dalam hal ini *Hexareef* dan jenis struktur yang lain apabila diletakkan pada lingkungan laut yang memiliki aliran air dinamis, akan menyebabkan perubahan medan aliran air, sehingga membentuk aliran vortex disekitar struktur yang menyebabkan *scouring* (Sumer dkk., 2005). Jika pada

struktur terjadi *scouring* terus menerus, maka kekuatan pondasi terganggu dan menyebabkan kegagalan struktur. Kegagalan struktur meliputi *overturning*, *settling*, *sliding*, dan mode kegagalan untuk *submerged breakwater* (Hughes, 2001). Berdasarkan hal tersebut, maka dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisa karakteristik *scouring* yang terjadi pada kaki model struktur terumbu buatan tipe heksagonal (*Hexa Reef*) dengan beberapa parameter yang diterapkan pada pengujian model.



**Gambar 1.1.** Bentuk model terumbu heksagonal (kiri), penampang atas dan samping terumbu (kanan)

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat ditentukan beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi gelombang dan jarak (gap) antar struktur *Hexareef* terhadap karakteristik *scouring* yang terjadi?
2. Bagaimana pendekatan kedalaman *scouring* maksimum yang terjadi pada *artificial reef* bentuk heksagonal (*Hexareef*)?

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui karakteristik *scouring* terhadap variasi gelombang dan jarak (gap) antar struktur pada model terumbu buatan *Hexareef*.
2. Mengetahui pendekatan kedalaman *scouring* maksimum yang terjadi pada *artificial reef* bentuk heksagonal (*Hexareef*).

### 1.4 Manfaat Penelitian

Dari tugas akhir ini diharapkan dapat mengetahui karakteristik dan pola *scouring* akibat faktor gelombang dan jarak (gap) antar struktur terumbu buatan *Hexareef*. Selain itu juga dapat diketahui pendekatan kedalaman *scouring* maksimum yang terjadi pada struktur *Hexareef*. Dari hasil tersebut maka dapat digunakan oleh instansi tertentu ataupun peneliti lain untuk menggunakan terumbu karang buatan bentuk heksagonal.

### 1.5 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah yang diberikan, antara lain :

1. Material penyusun terumbu buatan ini adalah campuran semen pasir dengan bentuk heksagonal berongga.
2. Model diasumsikan memiliki porositas, ukuran, dan berat jenis sama.
3. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang reguler dan iregular dengan spektrum JONSWAP.
4. Arah sudut datang gelombang tegak lurus model uji.
5. Nilai tinggi gelombang, periode gelombang dan kedalaman *freeboard* ditentukan.
6. Kekuatan struktur dianggap sama dan dianggap stabil.
7. *Scouring* yang terjadi akibat dari gelombang dengan dasar perairan rata.
8. Analisa karakteristik *scouring* hanya dilakukan pada kedalaman *scouring* dan lokasi terjadinya *scouring*.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan yang digunakan yang digunakan dalam tugas akhir ini sebagai berikut :

### **Bab I. Pendahuluan**

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang mengapa penelitian ini perlu dilakukan, perumusan masalah, tujuan dan manfaat dari penelitian ini. Batasan masalah juga diberikan agar dalam pembahasan tidak meluas.

### **Bab II. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori**

Bab ini menjelaskan dasar-dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan dalam menyelesaikan perumusan masalah yang ada.

### **Bab III. Metodologi Penelitian**

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah secara terperinci dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

### **Bab IV. Analisa Data dan Pembahasan**

Bab ini menjelaskan mengenai semua hasil analisa dan pengujian yang dilakukan. Hasil pengolahan data yang didapatkan digunakan untuk menjawab tujuan dari dilakukan penelitian ini.

### **Bab V. Kesimpulan dan Saran**

Bab ini berisi tentang semua jawaban dari permasalahan yang ada serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Perkembangan pandangan fungsi dan kegunaan terumbu karang buatan (*artificial reef*) sudah berkembang dari fungsi utama sebagai salah satu metode rekondisi terumbu karang asli, menjadi salah satu struktur bangunan pemecah gelombang ambang benam (*submerged breakwater*). Dalam perkembangan fungsinya sebagai pemecah gelombang ambang bawah, terdapat beberapa aspek terutama mengenai karakteristik *scouring* yang terjadi pada kaki struktur, sehingga dapat di estimasikan *scouring* yang terjadi pada struktur tersebut. Testik (2009) dalam penelitiannya mengatakan bahwa dalam meletakkan struktur pada lingkungan pantai, perlu diperhatikan mengenai perubahan transpor sedimen yang dapat menyebabkan kegagalan struktur akibat *scouring* yang disebabkan gaya hidrodinamik. Penelitian mengenai *scouring* juga dilakukan oleh Carstensen (2015) untuk rubblemound breakwater, dengan menganalisa besar *scouring* maksimum yang terjadi akibat kombinasi arus dan gelombang memiliki nilai yang sebanding dengan besar *scouring* maksimum yang terjadi akibat gelombang saja. Sumer dkk. (2005) meneliti mengenai *scouring* lokal yang terjadi pada *roundhead* dan *trunk submerged breakwater*. Eksperimen menunjukkan bahwa *scouring* dapat terjadi pada kaki struktur, terlepas jenis breakwater itu *impermeable* atau *porous*.

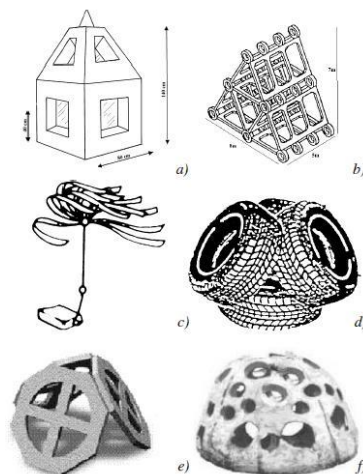
Testik (2009) dalam penelitiannya mengenai *scouring* pada *submerged vertical* dan *semicircular breakwater* bahwa kedalaman maksimum *scouring* tidak cukup untuk memprediksikan kegagalan *breakwater* untuk mode *sliding* dan *overturning*. Dengan kondisi tersebut, maka untuk berbagai jenis bentuk *breakwater* tidak dapat memprediksikan karakteristik bentuk *scouring* yang terjadi. Dalam bentuk *breakwater* yang sama dapat dimungkinkan terjadi perbedaan karakteristik pada setiap kondisinya. Sucipto (2011) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa kecepatan aliran sangat berpengaruh pada kedalaman gerusan lokal (*local scouring*) di sekitar pilar silinder. Dengan kecepatan aliran yang berbeda, maka gaya yang bekerja untuk mengangkut sedimen berbeda pula. Analisa karakteristik *scouring* dilakukan untuk *artificial reef* berbentuk *bottle reef*.

Penelitian dilakukan untuk berbagai parameter pada model *bottle reef*, sehingga diperoleh lebar scouring, kedalaman scouring, dan kedalaman maksimum scouring yang terjadi pada model tersebut dengan berbagai konfigurasi pemasangan breakwater (Pratikino, 2015).

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Terumbu buatan (*Artificial Reef*)

Terumbu buatan (*Artificial reef*) merupakan struktur bangunan bawah air yang memiliki karakteristik sama dengan terumbu alami. Material penyusun terumbu buatan dapat berupa balok beton, logam, ataupun ban bekas. Fungsi utama terumbu buatan adalah untuk mengganti habitat laut yang rusak sebagai tempat berlindung dan mencari makan, dapat juga berfungsi sebagai penahan gelombang yang membaurkan dan mengurangi energi gelombang yang mengenai pantai (Armono, 2004). Terumbu buatan biasanya ditempatkan pada lokasi dengan produktivitas habitat yang rendah, daerah dengan kondisi terumbu karang yang rusak, dan area yang memerlukan gelombang kecil untuk kegiatan pariwisata (Armono, 2004). Berbagai model terumbu buatan telah dikembangkan untuk pemecah gelombang, diantaranya *Bottle Reef*, *Reef Ball*, *Hemispheric Artificial Reef*, dan lain sebagainya. Ciri khas pada struktur terumbu buatan adalah sisi-sisi berongga yang berfungsi untuk lokasi perlindungan habitat dan memecah energi gelombang yang mengenai struktur.



**Gambar 2.1.** Jenis-jenis terumbu karang buatan (sumber :  
[http://www.coastalwiki.org/wiki/Artificial\\_reefs](http://www.coastalwiki.org/wiki/Artificial_reefs))

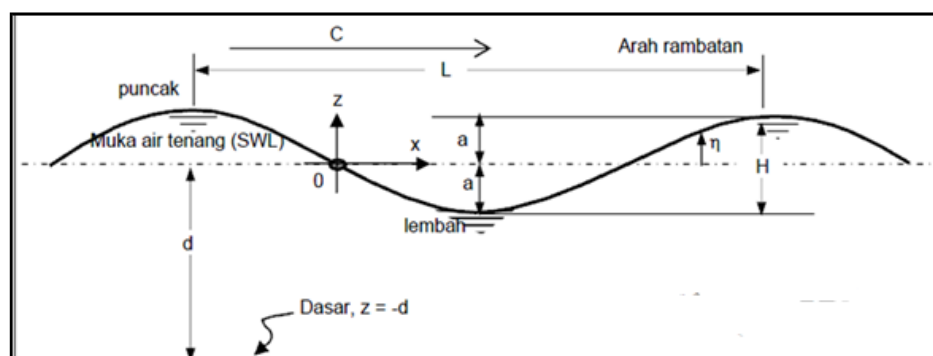


### 2.2.2 Teori Gelombang Reguler (*Regular Wave*)

Gelombang reguler merupakan gelombang yang berpropagasi dalam bentuk tetap dan memiliki nilai tinggi dan periode gelombang relatif tetap. Gelombang reguler adalah pendekatan dari sebuah kenyataan dengan beberapa asumsi penyederhanaan terhadap beberapa faktor terbentuknya gelombang (Triatmodjo, 1999), diantaranya :

1. Fluida dianggap homogen.
2. Tegangan permukaan diabaikan.
3. Gaya Coriolis diabaikan.
4. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
5. Fluida dianggap ideal.
6. Dasar laut dianggap datar, tetap, dan impermeabel, sehingga kecepatan vertikal dasar dianggap nol.
7. Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air (berbentuk sinusoidal).
8. Gerak gelombang berbentuk silinder sehingga gelombang memanjang 2 dimensi.

Gelombang reguler yang bergerak dapat didefinisikan dalam besaran utama gelombang yaitu  $H$  (tinggi gelombang),  $L$  (panjang gelombang),  $d$  (kedalaman perairan) atau  $H$  (tinggi gelombang),  $T$  (periode gelombang),  $d$  (kedalaman perairan). Parameter gelombang lainnya seperti kecepatan serta percepatan partikel air, kecepatan dan panjang gelombang dapat diperoleh dari turunan teori gelombang.



**Gambar 2.2.** Parameter gelombang reguler (Triatmodjo, 1999)

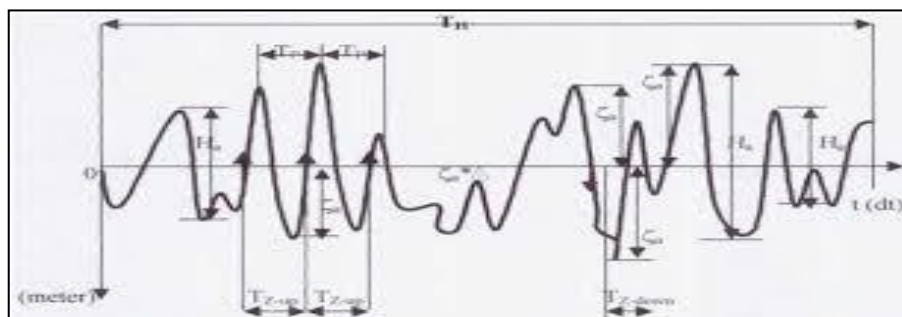
Dimana :

- a = amplitudo gelombang
- c = kecepatan gelombang
- d = kedalaman permukaan air rata-rata dari dasar tanah
- H = tinggi gelombang dari lembah ke puncak
- L = panjang gelombang
- $\eta$  = perpindahan arah horizontal dari puncak gelombang
- y = ketinggian gelombang dari SWL
- $h(t)$  = profil permukaan gelombang pada saat diatas SWL

### 2.2.3. Teori Gelombang Acak (*Irregular Wave*)

Secara umum, gelombang di laut sangat kompleks dan sulit untuk digambarkan secara matematis diakibatkan oleh ketidaklinierannya, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang acak, dimana suatu deret gelombang memiliki tinggi dan periode yang berbeda. Menurut Bhattacharyya (1972), gelombang irregular memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- Permukaan gelombang merupakan permukaan yang tidak beraturan
- Permukaan gelombang yang tidak beraturan selalu berubah dari waktu ke waktu dan bervariasi dari tempat ke tempat, tergantung oleh kecepatan angin.
- Dari interval ke interval, pola atau bentuk gelombang irregular tidak pernah berulang, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. berikut ini:



**Gambar 2.3.** Definisi Gelombang Irregular. (Bhattacharyya, 1972)

dimana:

- $\gamma$  = elevasi gelombang
- $\gamma_a$  = amplitude gelombang semu (*apparent wave amplitude*)
- $H$  = tinggi gelombang semu (*apparent wave height*)
- $T_r$  = periode lintas nol semu (*apparent zero closing period*)
- $T_c$  = periode semu (*apparent period*)

Gelombang irregular tidak dapat didefinisikan melalui pola atau bentuknya, namun menurut energi total dari semua gelombang yang membentuknya (Bhattacharya, 1972).

$$E_T = \sum E_i \quad (2.1)$$

atau:

$$E_T = \frac{1}{2} \rho g \sum \varepsilon_a i \quad (2.2)$$

dengan:

- $E_T$  = energi total (joule/m)
- $E_i$  = energi masing-masing gelombang sinusoidal (joule/m)
- $\rho$  = densitas air laut ( $\text{kg/m}^3$ )
- $g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )
- $\varepsilon_a i$  = amplitudo gelombang (m)

Berdasarkan keterangan di atas, gelombang di laut dapat dinyatakan menurut distribusi energi terhadap frekuensi gelombang, panjang gelombang, dan periode gelombang. Distribusi energi gelombang menurut frekuensinya disebut spektrum gelombang.

#### 2.2.4 Scouring

*Scouring* adalah pergerakan dari tanah dasar laut yang disebabkan arus dan gelombang dimana prosesnya sama dengan erosi. *Scouring* merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh aliran air laut. Peristiwa ini terjadi pada material lumpur atau endapan, namun dapat juga terjadi pada batu dan karang dengan kondisi tertentu. Menurut Sumer & Fredsoe (2002) dalam buku *The Mechanics of Scour in*

*the Marine Environment*, *scouring* adalah proses penggerusan atau pengikisan tanah dibawah struktur silinder bawah laut (pipa atau kabel) akibat fluktuasi tekanan dan kecepatan aliran fluida.

Suatu struktur ketika diletakkan kedalam perairan, maka akan terjadi perubahan pola aliran fluida yang ada di sekitar struktur yang dapat menimbulkan fenomena berikut :

- Terjadinya penyusutan atau pemampatan aliran
- Terbentuknya *horseshoe vortex* di depan struktur
- Membangkitkan aliran turbulen
- Terjadi refleksi dan defleksi gelombang
- Menyebabkan gelombang pecah
- Menimbulkan perbedaan tekanan pada dasar perairan yang menyebabkan perpindahan material dasar laut

dengan perubahan tersebut maka disekitar struktur akan meningkatkan kejadian perpindahan sedimen yang menyebabkan *scouring* pada struktur sehingga berdampak pada stabilitas struktur. Terdapat beberapa variabel yang mempengaruhi *scouring* diantaranya kondisi fluida (massa jenis, gravitasi, kecepatan, kedalaman perairan), kondisi dasar (diameter butiran sedimen, kerapatan massa butiran), dan faktor geometrik (tebal, panjang, sudut arah aliran, dan jarak).

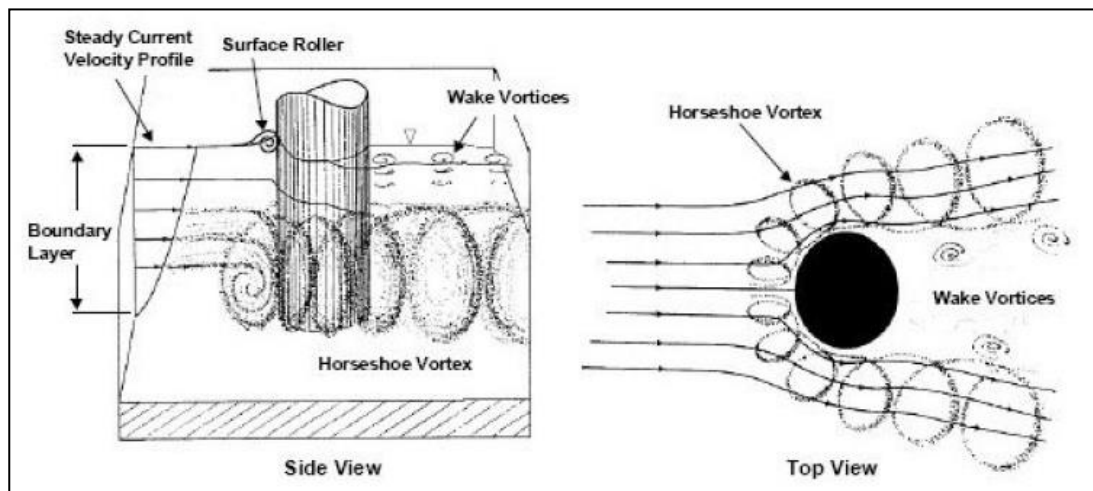
### 2.2.5 Mekanisme Scouring

*Scouring* yang terjadi dapat disebabkan oleh arus, gelombang, dan kombinasi antara arus dan gelombang. *Scouring* dapat terjadi apabila tegangan geser melebihi tegangan geser kritis ( $\tau_o > \tau_c$ ) yang disebabkan oleh kecepatan aliran di sekitar struktur melebihi kecepatan aliran kritis ( $U_o > U_c$ ) sehingga sedimen berpindah. Pada suatu nilai waktu  $t$  tertentu, nilai kedalaman *scouring* akan bernilai maksimum dan tidak akan mengalami pertambahan kedalaman *scouring*. Secara keseluruhan, penyebab *scouring* yang dominan dikarenakan timbulnya *horseshoe-vortex* (Fredsoe, 2002).

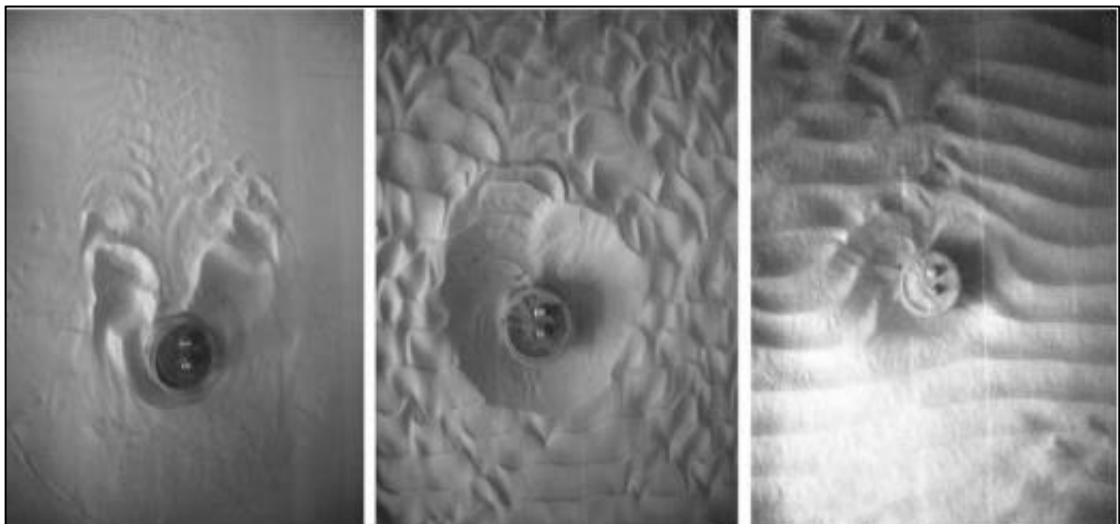
Dalam pernyataan diatas, *scouring* terjadi karena peningkatan *shear stress*, sehingga lapisan tanah dibawah mulai tererosi. Dengan terbentuknya lubang

scouring, aliran vortex akan membesar dengan ukuran dan kekuatan arusnya menuju ke bawah struktur (*downward flow increase*).

Selama pertumbuhan ukuran *scouring*, bentuk *scouring* akan tetap, karena itu tegangan geser tanah, besar arus, arah arus, dan intensitas turbulensi tetap sama. Ketika kedalaman *scouring* bertambah, maka aliran kebawah dekat dengan dasar *scouring* akan berkurang karena itu laju erosi akan menurun hingga mencapai titik ekuilibrium scouring.



**Gambar 2.4.** Mekanisme scouring akibat pola aliran di sekitar monopile (Miller, 2003 dalam Sucipto, 2011)



**Gambar 2.5.** Foto eksperimen dengan (a) aliran searah dalam kondisi clear-water, (b) aliran searah dalam kondisi live-bed, dan (c) pengaruh arus dan gelombang dalam kondisi live-bed (Hartvig, 2010 dalam Brink, 2014)

Dibelakang struktur, *lee-wake vortex* timbul. Aliran *vortex* ini bergerak menjauhi struktur dan mengarah ke permukaan. Aliran *vortex* ini membawa endapan dari sekitar struktur dan memindahkannya pada belakang struktur.

Faktor bentuk struktur mempengaruhi aliran arus dan gelombang yang menyebabkan scouring. Kedalaman scouring yang terjadi disekitar struktur berbentuk kotak dan heksagonal dengan penempatan arah datang gelombang yang berbeda-beda lebih besar daripada kedalaman scouring disekitar struktur berbentuk silinder (Whitehouse, 1998).

## 2.2.6 Scouring Akibat Gelombang

Scouring akibat gelombang disebabkan perbedaan siklus tekanan hidrostatik mengikuti fluktuasi permukaan gelombang yang mengenai dasar laut. Tekanan hidrostatik ditransmisikan ke dasar laut dan membentuk perbedaan besar tekanan vertikal dan horisontal yang menyebabkan likuifaksi dan scouring pada tanah (Whitehouse, 1998).

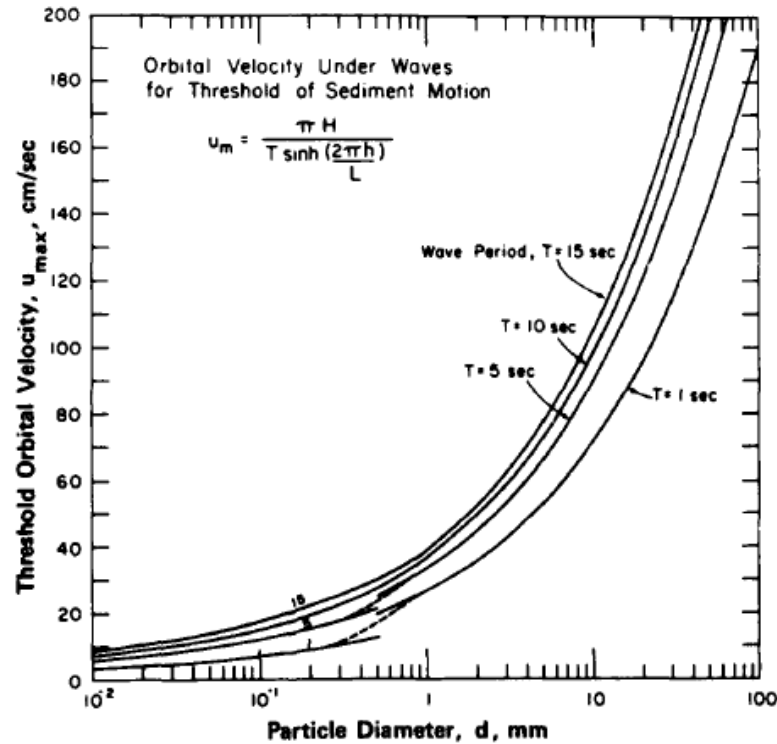
Perpindahan sedimen akibat gelombang dipengaruhi oleh kecepatan orbital partikel. Komar dan Miller (1974) dalam Hales (1980) dalam hasil eksperimennya mengatakan bahwa ambang batas perpindahan sedimen (*threshold of sediment movement*) dapat ditentukan berdasarkan diameter butiran sedimen  $d$ , massa jenis sedimen  $\rho_s$ , dan periode gelombang  $T$ . Ketiga parameter tersebut dapat menentukan besar kecepatan orbital di dekat dasar  $U_{max}$  berdasarkan grafik pada gambar 2.6.  $U_{max}$  merupakan kecepatan orbital kritis sedimen sebelum terjadinya perpindahan sedimen, yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$U_{max} = \frac{\pi H}{T \sinh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \quad (2.3)$$

dimana :

- H = Tinggi gelombang [m]
- T = Periode gelombang [detik]
- h = Kedalaman air [m]
- L = Panjang gelombang [m].

Berdasarkan nilai  $U_{max}$ , diketahui apabila kecepatan orbital partikel  $U$  lebih kecil dari  $U_{max}$  ( $U < U_{max}$ ), maka sedimen tidak mengalami pergerakan. Sedangkan bila nilai  $U$  lebih besar dari  $U_{max}$  ( $U > U_{max}$ ), maka sedimen akan bergerak sesuai dengan arah gelombang datang. Apabila sedimen di sekitar struktur mengalami perpindahan akibat gelombang, maka di sekitar struktur mengalami *scouring*.



**Gambar 2.6.** Kecepatan orbital dekat dasar untuk ambang pergerakan sedimen dibawah gelombang berosilasi (Komar dan Miller, 1974 dalam Hales, 1980)

### 2.2.7 Parameter Non-dimensional

Dalam pembahasan mengenai *scouring* dan beberapa kondisi hidrodinamis dijelaskan dengan menggunakan besaran tidak berdimensi (*non dimensional parameter*). Terdapat beberapa parameter yang sering digunakan dalam analisa *scouring*, diantaranya adalah KC number (KC) dan mobility parameter number ( $\Psi$ ).

#### 2.2.7.1 Keulegan-Carpenter Number (KC)

Bilangan Keulegan Carpenter juga disebut angka periode, ialah suatu bilangan non dimensional yang mendeskripsikan hubungan antara gaya drag dengan gaya inertia yang menggerakkan objek dalam aliran fluida (Fredsoe, 2002). Untuk nilai KC yang kecil maka gaya inertia yang dominan sedangkan jika nilai

KC yang besar maka gaya drag yang dominan. Nilai KC dapat dituliskan sebagai berikut

$$KC = \frac{H_i \pi}{W} \quad (2.4)$$

dimana :

$H_i$  = ketinggian gelombang datang (m)

$W$  = lebar efektif puncak struktur (m)

### 2.2.7.2 Mobility Parameter

Mobility parameter merupakan bilangan non dimensional yang mendeskripsikan hubungan antara pengaruh karakteristik gelombang terhadap besar butiran sedimen (Testik, 2009). Mobility parameter ini dapat disebut juga mobility parameter pada dasar laut. Apabila ditulis dalam persamaan menjadi

$$\psi = \frac{\left( \frac{H_i \pi}{T \sinh(kh)} \right)^2}{g^* d} \quad (2.5)$$

dimana :

$H_i$  = ketinggian gelombang datang (m)

$T$  = periode gelombang datang (detik)

$k$  = angka gelombang

$h$  = kedalaman air (m)

$g^*$  = gaya gravitasi tereduksi

=  $g(\rho_s/\rho-1)$

$d$  = diameter butiran sedimen (m)

Kedua parameter non-dimensional tersebut dapat menggambarkan keadaan scouring yang terjadi pada sekitar struktur terbenam. Selain dua parameter diatas, parameter non dimensional juga dapat disusun berdasarkan variabel yang digunakan dalam pengujian dengan menggunakan analisis parameter non dimensional yang dapat dilakukan dengan berbagai metode, yaitu dengan metode Rayleigh, Buckingham Pi, dan metode matriks (Munson, 2004).



### 2.2.8 Pemodelan Fisik

Pemodelan fisik dapat dikatakan sebagai percobaan yang dilakukan dengan membuat bentuk model yang sama dengan prototipenya atau menggunakan model yang lebih kecil dengan kesebangunan atau similarits yang cukup memadai. Dengan dibuatnya suatu model, maka akan diprediksikan karakteristik suatu struktur yang akan dibangun. Studi model harus memperhatikan proses fisik yang akan dimodelkan, sehingga kejadian yang ada pada model akan sebangun dengan yang ada pada prototip. Dalam permodelan, terdapat beberapa kelemahan yang mendasar, yaitu :

1. Adanya efek skala; hal ini terjadi karena model dibuat lebih kecil dari prototipenya. Semua variabel yang relevan tidak mungkin dimodelkan dalam hubungan yang benar satu sama lain, dengan kata lain efek skala menyederhanakan masalah melalui asumsi pada pemodelan numerik.
2. Efek Laboratorium; hal ini dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan bila tidak dilakukan pendekatan yang sesuai dengan prototipenya. Efek laboratorium biasanya muncul karena ketidakmampuan untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang realistis karena adanya pengaruh keterbatasan yang dimiliki model terhadap proses yang disimulasikan.
3. Fungsi gaya dan kondisi batas yang bekerja di alam tidak disertakan dalam pemodelan, sebagai contoh adalah gaya geser angin pada permukaan.
4. Biaya pelaksanaan pemodelan fisik lebih mahal dibandingkan pemodelan numerik sehingga pada situasi dimana pemodelan numerik akan lebih dipilih daripada pemodelan fisik.

Konsep dasar pemodelan dengan bantuan skala model adalah membentuk kembali masalah atau fenomena yang ada di prototipe dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi di model akan sebangun (mirip) dengan yang ada di prototipe. Kesebangunan yang dimaksud adalah berupa sebangun geometrik, sebangun kinematik dan sebangun dinamik (Darwis, 2014).

Hubungan antara model dan prototipe diturunkan dengan skala, untuk masing-masing parameter mempunyai skala tersendiri dan besarnya tidak sama.

Skala dapat didefinisikan sebagai rasio antara nilai yang ada di prototipe dengan nilai parameter tersebut pada model.

### 2.2.9 Analisa Regresi Linear Sederhana

Analisa ini digunakan untuk mempelajari dan mengukur hubungan statistik yang terjadi antara dua atau lebih variabel. Variabel yang nilainya diestimasi disebut sebagai variabel terikat dan biasanya di plot pada sumbu tegak (sumbu y). Sedangkan variabel bebas adalah variabel yang diasumsikan memberikan pengaruh terhadap variasi variabel terikat dan biasanya di plot pada sumbu datar (sumbu x).

Dalam analisis regresi linier sederhana ini akan ditentukan persamaan yang menghubungkan dua variabel yang dapat dinyatakan sebagai bentuk persamaan pangkat satu.

Persamaan umum untuk regresi linier sederhana :

$$y = a + bx \quad (2.6)$$

dimana :

y = nilai estimasi variabel terikat

a = titik potong garis regresi pada sumbu y, atau nilai estimasi y bila x=0

b = gradient garis regresi (perubahan nilai estimasi y persatuan perubahan nilai x)

x = nilai variabel bebas

Dalam analisa regresi, terdapat koefisien determinasi yang menunjukkan nilai keterkaitan antara variabel satu dengan yang lainnya (Harinaldi, 2005), dituliskan dalam persamaan

$$r^2 = \frac{\sum(\hat{y}-\bar{y})^2}{\sum(y-\bar{y})^2} \quad (2.7)$$

dengan :

$\hat{y}$  = nilai y prediksi

$\bar{y}$  = nilai y rata-rata

y = nilai y data

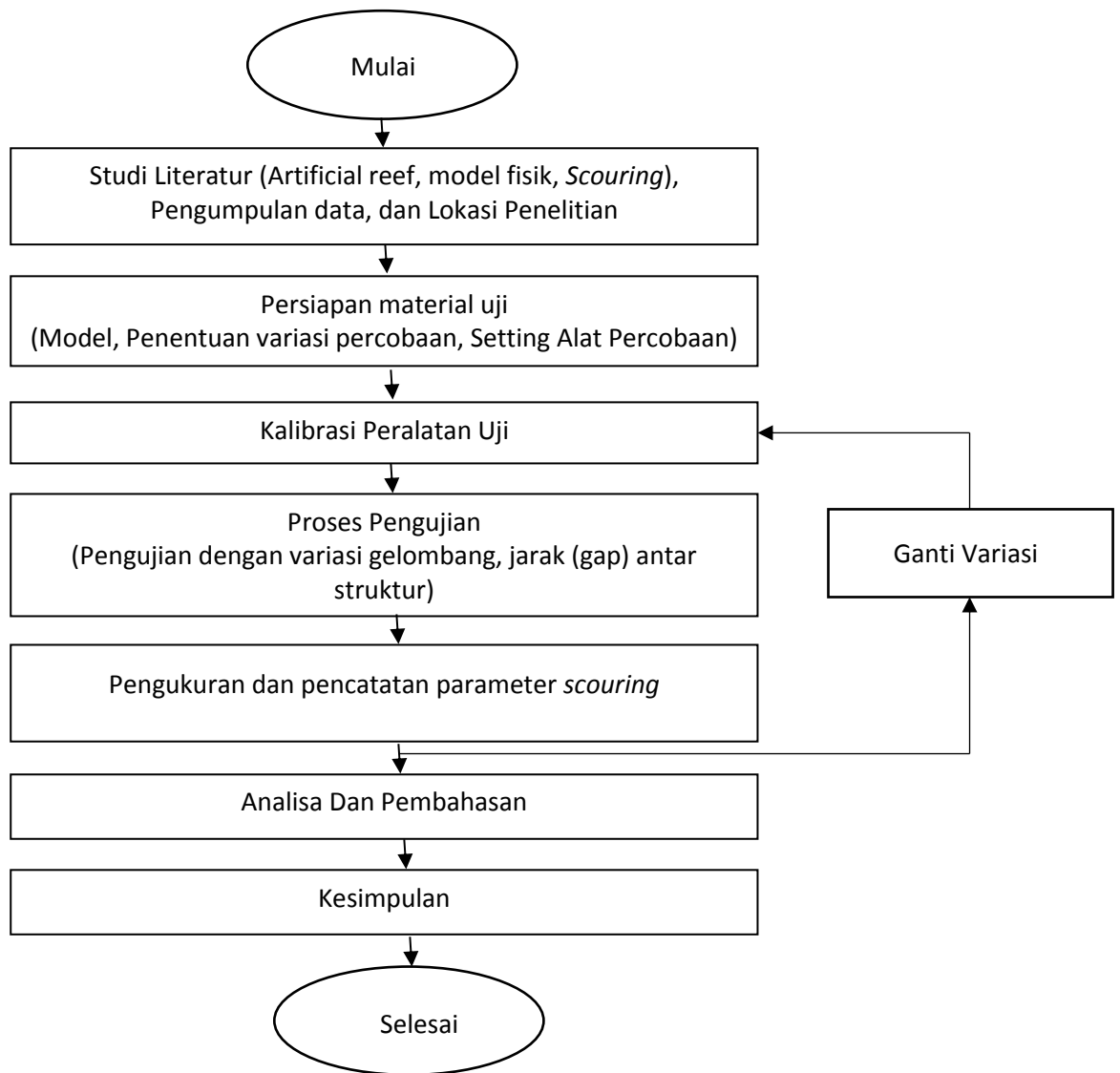
dimana  $r^2$  adalah koefisien determinasi. Nilai  $r^2$  akan bernilai 1 apabila terdapat relasi yang sempurna antara kedua variabel tersebut, dan bernilai 0 apabila tidak terdapat relasi.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Terdapat beberapa tahapan persiapan penelitian yang perlu dilakukan dalam menganalisa karakteristik *scouring* di sekitar terumbu buatan bentuk heksagonal. Tahapan tersebut dapat digambarkan pada diagram alir penelitian sebagai berikut.



**Gambar 3.1.** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

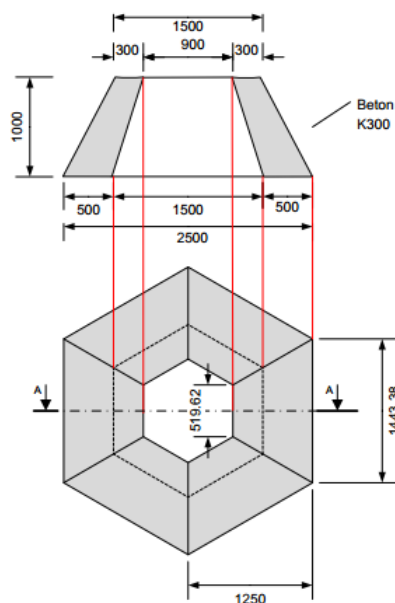
Prosedur langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan, seperti pada gambar 3.1 dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### 3.2.1 Studi Literatur

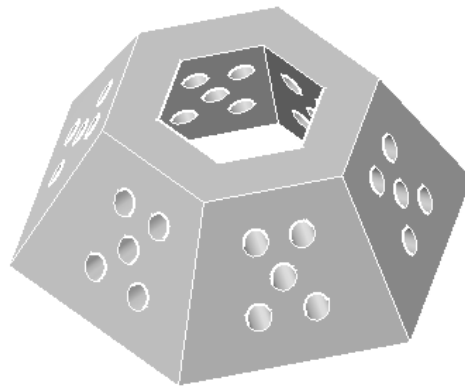
Tugas akhir ini diawali dengan pemahaman materi, baik yang didapatkan dari kuliah, *text book*, maupun jurnal. Pengumpulan data meliputi dimensi model, ketebalan lapisan tanah dibawah model struktur dan beberapa parameter pengujian lainnya. Studi literatur yang dilakukan untuk menunjang proses penelitian dan analisa data yang diperoleh dari pengujian. Penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian model fisik pada flume tank di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS.

#### 3.2.2 Persiapan Material Uji

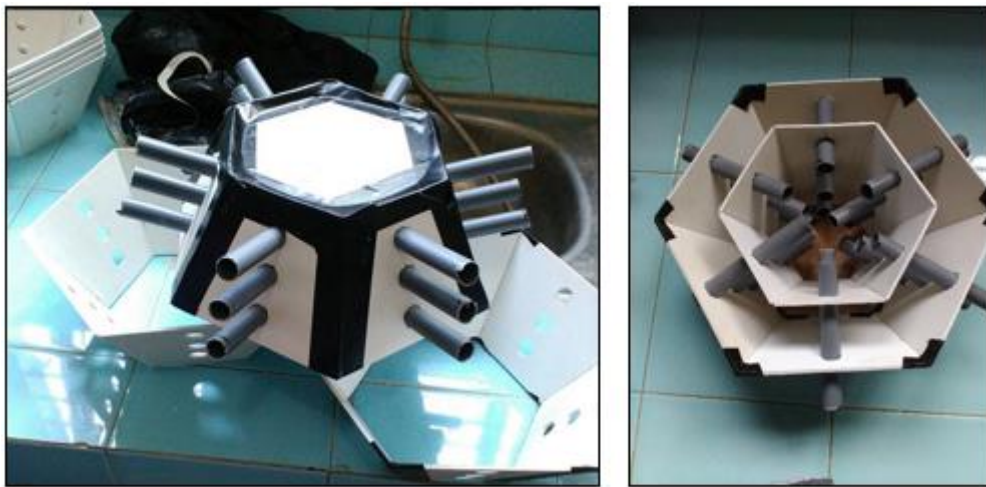
Persiapan material uji meliputi persiapan model, penentuan variasi percobaan sebagai variabel bebas dalam penelitian, dan melakukan setting pada kolam gelombang (flume tank). Model yang digunakan dalam pengujian kali ini adalah bentuk heksagonal dengan lubang sebanyak 3 pada setiap sisinya. Material yang digunakan adalah campuran pasir semen dengan perbandingan 2,5 : 1. Dimensi dari model struktur dapat digambarkan seperti sketsa dibawah ini.



**Gambar 3.2.** Dimensi model terumbu buatan bentuk heksagonal



**Gambar 3.3.** Permodelan tampilan 3D terumbu buatan heksagonal



**Gambar 3.4.** Cetakan model terumbu buatan heksagonal

Model memiliki tinggi sebesar 10 cm dengan lebar kaki sebesar 25 cm (sisi datar) dan 30 cm (sisi lancip) serta lebar puncak sebesar 18.5 cm. Model merupakan purwarupa struktur asli dengan perbandingan 1:10. Untuk variasi dalam pengujian ini dilakukan untuk gelombang (tinggi dan periode gelombang) serta jarak (gap) antar struktur.

Variasi percobaan dapat dituliskan dalam tabel 3.1 di bawah. Penentuan variasi tinggi gelombang untuk gelombang reguler dan ireguler berdasarkan kemampuan dari *flume tank* untuk membangkitkan gelombang. Data gelombang yang digunakan dalam pengujian ini adalah nilai minimum, nilai tengah, maksimum dari kapasitas *flume tank*. Dalam eksperimen ini, jenis spektra gelombang ireguler yang digunakan adalah spektra JONSWAP.

**Tabel 3.1** Variasi periode, ketinggian, dan jenis gelombang serta jarak gap struktur

Percobaan ke-	Ti [detik]	Hi [m]	Jarak Gap	Ket.
1	1	0.1	0D	Regular Wave
2	1	0.2	0D	
3	2	0.1	0D	
4	2	0.2	0D	
5	1	0.1	1D	
6	1	0.2	1D	
7	2	0.1	1D	
8	2	0.2	1D	
9	1	0.03	0D	Irregular Wave (JONSWAP)
10	1	0.05	0D	
11	1	0.07	0D	
12	1	0.03	1D	
13	1	0.05	1D	
14	1	0.07	1D	

Persiapan material uji juga dilakukan untuk pasir sebagai area hasil pengujian. Percobaan ini menggunakan jenis pasir sungai dengan ukuran diameter ( $d_{50}$ ) maksimal sebesar 0,3 mm dengan massa jenis  $2650 \text{ kg/m}^3$ . Lapisan pasir yang digunakan setebal 35 cm, sehingga dapat memungkinkan kedalaman *scouring* maksimum terjadi.

Peralatan yang digunakan untuk melakukan pengujian karakteristik *scouring* pada terumbu heksagonal diantaranya :

1. Kolam Gelombang / Tangki Saluran Gelombang (Flume Tank)

Flume tank pada Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan berdimensi 20 m x 2,3 m x 2,5 m (panjang, lebar, tinggi) memiliki tiga jenis pembangkit yaitu pembangkit angin, pembangkit arus, dan pembangkit gelombang. Pembangkit angin dengan menggunakan

sistem blower dengan kecepatan maksimum angin sebesar 10 m/s. Pembangkit arus dengan sistem impeller dengan rentang kecepatan 2,5 hingga 10 cm/s. Pembangkit gelombang menggunakan sistem plunyer dengan karakteristik gelombang ireguler dan reguler dengan tinggi gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 30 cm (gelombang reguler) dan 7 cm (gelombang ireguler). Untuk besar periode berkisar 0,5 – 3,0 detik, dan kedalaman air maksimum sebesar 80 cm.



**Gambar 3.5.** Flume Tank

## 2. Wave Probe

Wave probe merupakan alat pengukur tinggi gelombang, apabila alat tersebut tercelup air maka elektroda tersebut mengukur konduktivitas air. Konduktivitas tersebut berubah secara proporsional sesuai dengan variasi perubahan elevasi muka air. Dalam penelitian ini wave probe yang digunakan berjumlah 2 yang dipasang di depan dan di belakang model uji.



**Gambar 3.6.** Wave probe

### 3. Laser Meter

Laser meter merupakan alat pengukur jarak dengan menggunakan prinsip kerja pantulan sinar laser yang ditembakkan menuju titik ukur dan di terima kembali oleh *receiver* laser. Dalam penelitian ini, laser meter digunakan bersama dengan grid pengukur untuk menentukan kedalaman *scouring* yang terjadi di sekitar struktur. Nilai hasil pembacaan laser meter digunakan untuk memodelkan *scouring* yang terjadi di sekitar struktur secara 2 dimensi.



**Gambar 3.7.** Laser meter

### 4. Grid Pengukur

Grid pengukur digunakan bersamaan dengan laser meter. Grid pengukur merupakan alat bantu yang digunakan untuk menentukan titik-titik pengukuran yang akan dilakukan dengan menggunakan laser meter. Jarak tiap lubang pengukuran sebesar 5 cm dengan lebar 60 cm dan panjang 2 meter. Titik-titik pengukuran pada grid pengukur disesuaikan juga dengan peletakan model struktur. Titik-titik pengukuran digunakan pula sebagai acuan untuk permodelan 3 dimensi pola *scouring*.

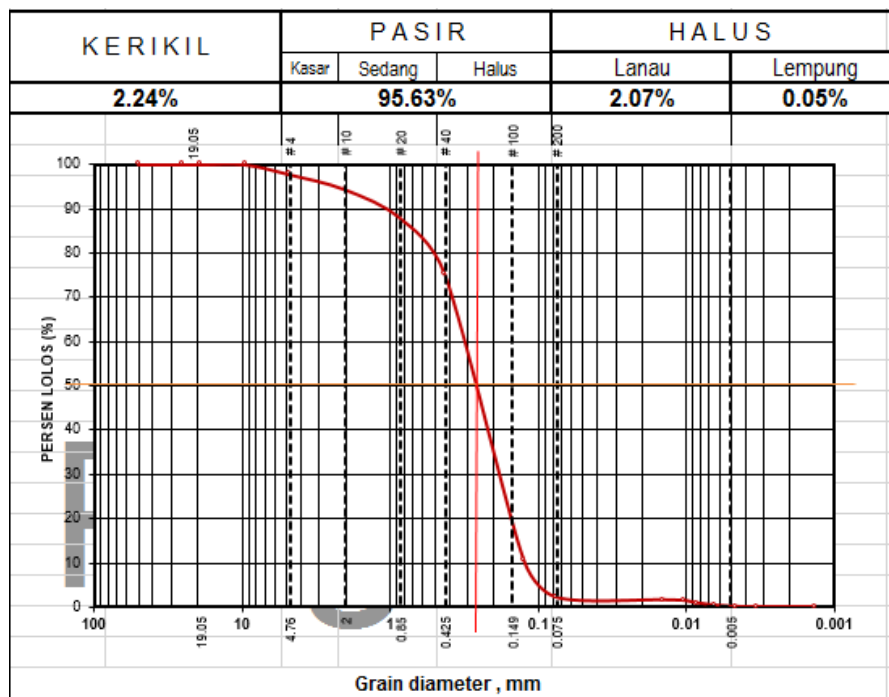
#### 3.2.3 Persiapan pengujian

Dalam melakukan penelitian mengenai *scouring*, diperlukan beberapa persiapan yang perlu dilakukan sehingga eksperimen dapat dilakukan sesuai rencana, di antaranya :



## 1. Analisa gradasi lapis pasir

Dalam penelitian ini, rencana ukuran butir pasir yang digunakan dengan d<sub>50</sub> maksimum 0,3 mm. Dari hasil analisa ayakan (analisa gradasi) dengan sampel sebanyak 2 kilogram, maka diperoleh besar nilai d<sub>50</sub> adalah sebesar 0,28 mm. Dari hasil analisa ayakan, pasir yang digunakan masuk kedalam kriteria rencana percobaan, sehingga dapat digunakan untuk menggambarkan pola *scouring* di sekitar struktur.

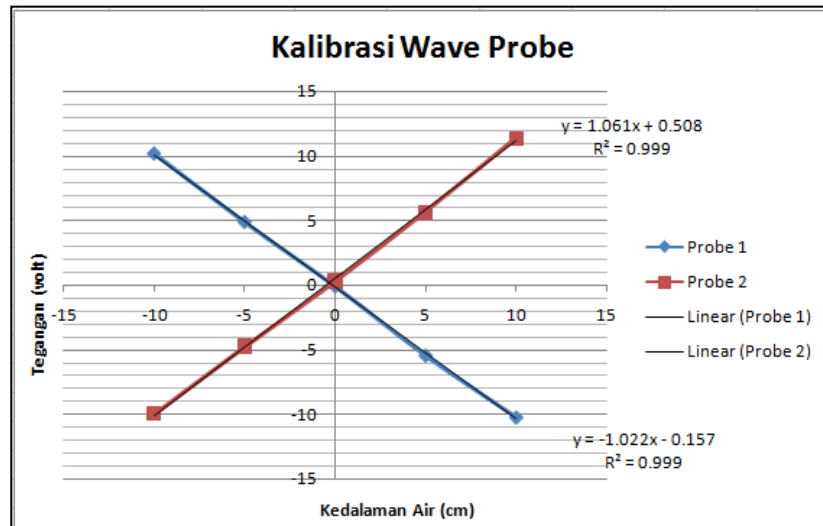


**Gambar 3.8.** Grafik analisa gradasi sampel pasir percobaan dengan d<sub>50</sub> sebesar 0.28 mm

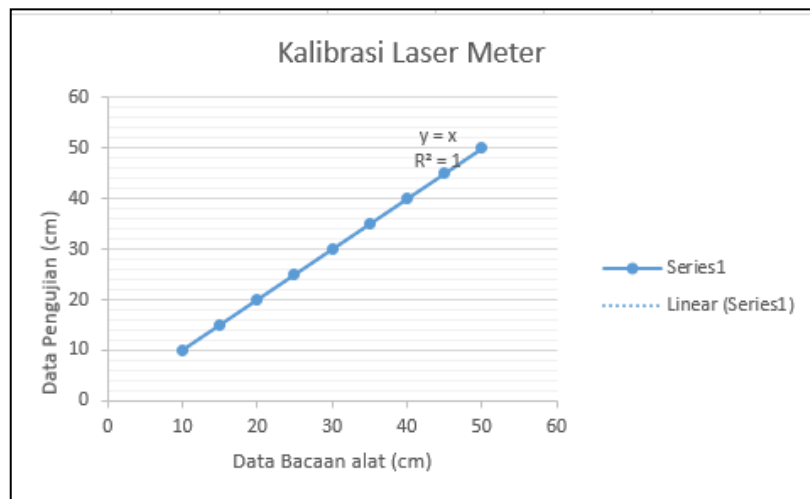
## 2. Kalibrasi wave probe

Kalibrasi wave probe dilakukan untuk memperoleh korelasi antara voltase yang merupakan output dari wave probe terhadap kedalaman air. Dari korelasi tersebut maka dapat dibentuk persamaan yang digunakan untuk mengkonversi hasil output wave probe menjadi amplitudo gelombang. Hasil dari proses kalibrasi ini berbentuk persamaan regresi, sehingga data hasil rekaman dari wave probe (*time history*) berupa voltage dapat diubah menjadi nilai ketinggian gelombang yang terjadi sebenarnya.

Pada gambar 3.9 dibawah menunjukkan grafik kalibrasi percobaan dimana sumbu-x adalah data tegangan (TMH) yang memiliki satuan volt dan pada sumbu-y adalah elevasi muka air dengan satuan sentimeter (cm). Probe 1 adalah kalibrasi pada probe yang terletak di depan struktur dengan persamaan garis  $y = -1.022x - 0.157$  dan probe 2 adalah kalibrasi pada probe yang terletak dibelakang struktur dengan persamaan garis  $y = 1.061x + 0.508$ .



**Gambar 3.9.** Grafik kalibrasi wave probe



**Gambar 3.10.** Grafik kalibrasi laser meter

### 3. Kalibrasi laser meter

Kalibrasi laser meter dilakukan dengan menembakkan sinar laser kearah bidang datar dengan jarak yang telah di tentukan sebelumnya. Berdasarkan hasil kalibrasi laser meter (lihat gambar 3.10) maka diperoleh persamaan garis

$y = x$ , sehingga hasil pembacaan jarak laser meter sama dengan jarak pada kondisi aslinya.

#### 4. Pengukuran model hexareef

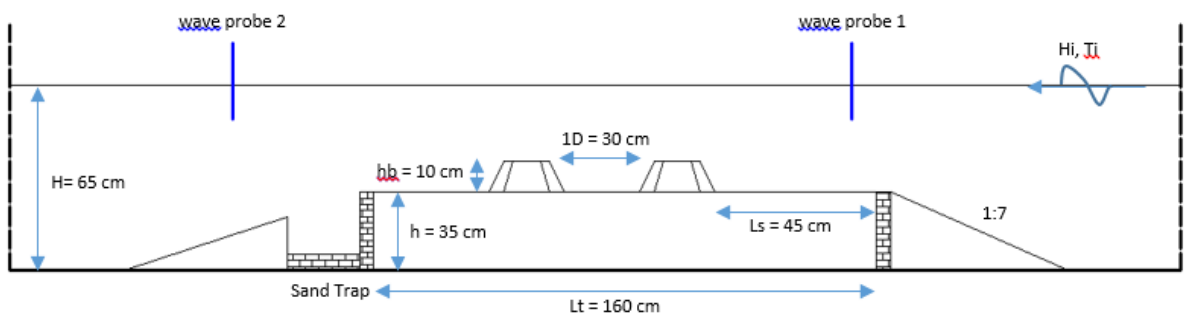
Pengukuran untuk berat dan dimensi dari model hexareef dilakukan untuk setiap model yang digunakan untuk analisa *scouring*. Terdapat 4 model yang digunakan untuk analisa *scouring* dengan spesifikasi sebagai berikut



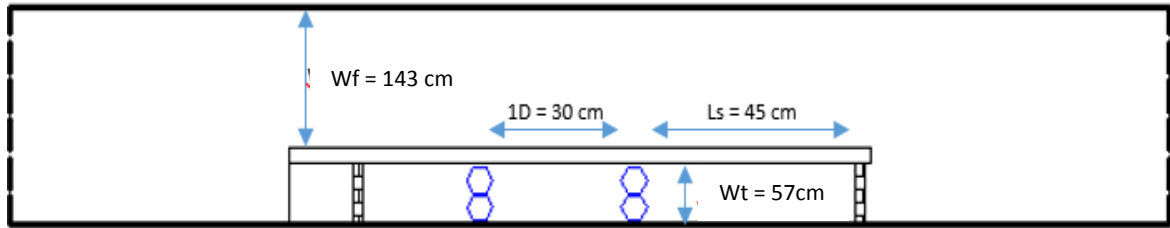
**Gambar 3.11.** Bentuk model Hexareef yang akan diuji

#### 3.2.4 Pengujian dan Pencatatan Kedalaman *Scouring*

Pengujian model fisik dilakukan di kolam gelombang (flume tank) pada Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS. Pengujian dilakukan untuk variasi jarak gap terumbu heksagonal serta variasi periode dan tinggi gelombang. Penempatan model terumbu pada kolam uji seperti sketsa gambar dibawah ini.



**Gambar 3.12.** Sketsa pengujian di kolam uji – tampak samping



**Gambar 3.13.** Sketsa pengujian di kolam uji – tampak atas

Dengan notasi sebagai berikut :

$H$  = Kedalaman air (cm)

$h$  = Ketebalan lapis tanah (cm)

$h_b$  = Ketinggian model struktur (cm)

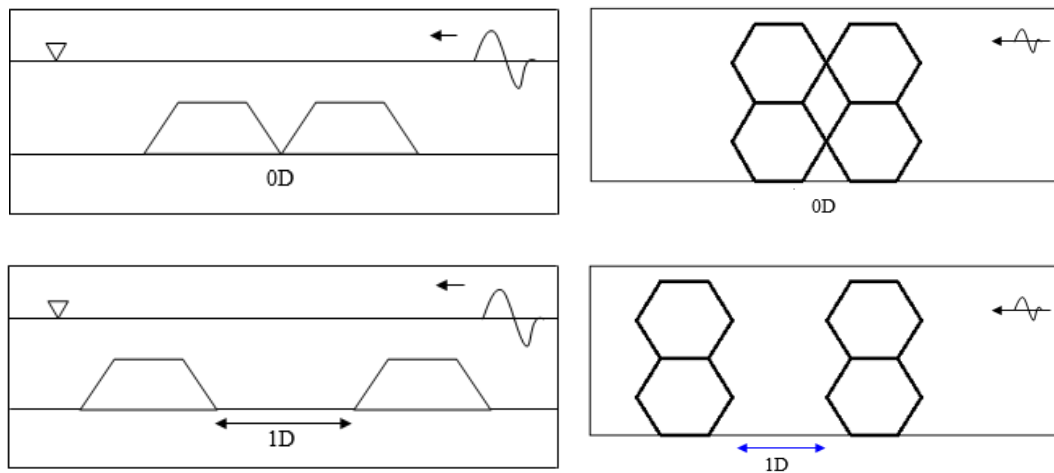
$L_t$  = Panjang area uji (cm)

$W_t$  = Lebar area uji (cm)

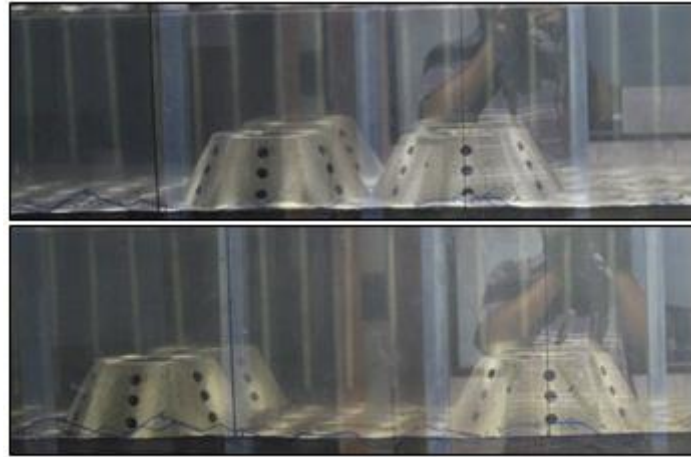
$W_f$  = Lebar area bebas (cm)

$L_s$  = Jarak model struktur dari titik awal area uji (cm)

Posisi penempatan struktur untuk pengujian ini dapat di ilustrasikan seperti gambar dibawah ini. Struktur dengan posisi jarak gap  $0D$  dan  $1D$  untuk tampak samping (gambar 3.14 kiri) dan tampak atas (gambar 3.14 kanan)



**Gambar 3.14.** Ilustrasi model terumbu buatan di dalam wave flume, gap  $0D$  (atas) dan gap  $1D$  (bawah) untuk tampak samping dan tampak atas.



**Gambar 3.15.** Kondisi asli model terumbu buatan di dalam wave flume, gap 0D (atas) dan gap 1D (bawah)

Pengujian dilakukan untuk model sebaris dengan variasi jarak antar struktur (gap). Pengujian dilakukan selama 60 menit hingga tidak terjadi penambahan kedalaman *scouring*. Pencatatan data dilakukan untuk nilai kedalaman *scouring* maksimum setiap interval 5 menit pada bagian depan dan belakang struktur. Pencatatan juga dilakukan untuk nilai kedalaman keseluruhan kolam uji untuk interval 20 menit.

### 3.2.5 Analisa dan Pembahasan

Hasil pencatatan data untuk percobaan dengan interval 20 menit ditampilkan dalam bentuk peta kontur dan profil potongan melintang kontur kolam uji secara 2 dimensi. Analisa yang dilakukan meliputi fenomena *scouring* dan sedimentasi yang terjadi disekitar struktur untuk setiap percobaan. Peta kontur pada menit ke 60 untuk setiap percobaan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh tinggi dan periode gelombang terhadap perubahan kontur kolam uji.

Dari pencatatan nilai kedalaman *scouring* maksimum, dilakukan analisa sebaran data dengan menggunakan parameter non dimensional untuk tiap variasi jarak gap baik di depan struktur maupun di belakang struktur. Sebaran data digunakan untuk menentukan jarak gap yang menyebabkan *scouring* maksimum. Selain itu, dari percobaan yang dilakukan, akan dibandingkan dengan pengujian yang sudah ada dan menentukan persamaan empiris pendekatan kedalaman *scouring* maksimum dengan menggunakan metode regresi linear.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dalam penentuan kedalaman *scouring*, bisa dilihat berdasarkan empat komponen penting, yaitu jarak peletakan antar struktur / gap struktur (D), tinggi gelombang (Hi), periode gelombang (Ti), dan jenis gelombang (reguler/ireguler). Dari pengujian terumbu buatan (artificial reef) di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS, diperoleh data posisi dan kedalaman *scouring* yang terjadi pada lapis tanah disekitar terumbu buatan bentuk heksagonal serta data pencatatan gelombang yang merupakan hasil konversi dari pencatatan perubahan elevasi muka air oleh wave probe.

#### 4.1 Data Gelombang

Data gelombang yang digunakan untuk melakukan analisa karakteristik *scouring* di sekitar terumbu buatan bentuk heksagonal ini berdasarkan hasil olahan nilai gelombang dengan bantuan software WareLab. Software WareLab digunakan untuk menentukan nilai tinggi gelombang (Hi) dan periode gelombang (Ti) yang berasal dari nilai pembacaan wave probe. Nilai pembacaan wave probe berupa time history (.TMH) dengan menggunakan analisa macro excel refana diperoleh nilai tegangan fluktuatif yang direkam oleh wave probe dalam kurun waktu tertentu.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1						Data Directory	C:\My Documents\Agustus 2008\dat pak HOO\arh mltg mdt 9\								
2						Data FileName	H 30 T 2.2.TMH								
3															
4						Zero Voltage		-0.0027	-0.0015		Zero				
5						Cal. Vloatge(with z)		0.0289	-0.0318		Cal.				
6						Cal. Vloatge(without z)		0.0316	-0.0303						
7						Cal.Set Value(m)		0.2000	0.2000						
8						Cal value		6.3298	-6.5959						
9							INP.	INP.	Fix.	calc.					
10						setting value	W. period	Samp. Frq.	2PAI	W. period 1	W. period 2				
11								100.0	6.283185						
12						Calc.result	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.	calc.
13							Eta1cos	Eta1sin	Eta2cos	Eta2sin	cos2	sin2	sincos		
14															
15						Ana result	calc.	calc.	calc.	calc.					
16							A1	B1	A2	B2					
17						Calc. Point	start (inp.)	end (inp.)	Data No.						
18									30000						
19															
20						Time History	No	Eta 1	Eta 2						
21						Time His. Clear	0.000	-0.60114694	0.85974604						
22							0.010	-0.60114694	0.79533339						
23						Time History	0.020	-0.6321	0.8275						
24							0.030	-0.6321	0.7953						
25						Zero UP cross	0.040	-0.6321	0.8275						
26							0.050	-0.6321	0.7953						
27						FRQ ANA	0.060	-0.6321	0.8597						
28							0.070	-0.6321	0.8275						
29							0.080	-0.6321	0.8275						
30							0.090	-0.6321	0.7953						

**Gambar 4.1.** Tampilan excel macro refana untuk mengambil nilai tegangan dari time history (.TMH)

Nilai Eta 1 merupakan nilai tegangan yang terekam oleh wave probe 1, dimana wave probe 1 pada percobaan ini merupakan probe pada bagian depan struktur. Sedangkan nilai Eta 2 merupakan nilai tegangan yang terekam oleh wave probe 2, dimana wave probe 2 pada percobaan ini merupakan probe pada bagian belakang struktur.

Nilai kalibrasi probe dan nilai rekaman gelombang berupa nilai time history (.TMH) di ambil dengan menggunakan macro excel refana dan kemudian dianalisa dengan menggunakan bantuan software WareLab untuk mengetahui nilai tinggi dan periode gelombang yang terjadi. Nilai eta 1 dan eta 2 baik untuk nilai kalibrasi probe dan rekaman gelombang disimpan dalam satu file excel tersendiri yang kemudian di tempatkan dalam satu folder yang sama untuk analisa dengan WareLab.

Name	Date modified	Type	Size
0	12/11/2016 10:04 ...	Microsoft Excel 97-2003 Worksheet	100 KB
AnaWaRe	9/27/2016 12:50 AM	Application	118 KB
D2	12/11/2016 10:04 ...	Microsoft Excel 97-2003 Worksheet	98 KB
D3	12/11/2016 10:04 ...	Microsoft Excel 97-2003 Worksheet	98 KB
D4	12/11/2016 10:06 ...	Microsoft Excel 97-2003 Worksheet	112 KB
H 10 T 1 a.	12/11/2016 12:49 ...	Microsoft Excel 97-2003 Worksheet	1,207 KB
H 10 T 1 b.	12/11/2016 12:51 ...	Microsoft Excel 97-2003 Worksheet	1,207 KB
H 10 T 1 c.	12/11/2016 12:53 ...	Microsoft Excel 97-2003 Worksheet	1,207 KB
U2	12/11/2016 10:06 ...	Microsoft Excel 97-2003 Worksheet	98 KB
U3	12/11/2016 10:06 ...	Microsoft Excel 97-2003 Worksheet	98 KB
U4	12/11/2016 10:07 ...	Microsoft Excel 97-2003 Worksheet	112 KB

**Gambar 4.2.** Penempatan hasil nilai output refana pada satu folder

Nilai kalibrasi probe dibagi untuk setiap ketinggian pergerakan kalibrasi. Seperti pada gambar 4.2, nilai kalibrasi probe diletakkan pada setiap file excel yang berbeda. Contoh pada nilai 0, pada nilai +5 cm (file D2), nilai +10 cm (file D3), nilai +15 cm (file D4), nilai -5 cm (file U2), nilai -10 cm (file U3), dan nilai -15 cm (file U4). Nilai pembacaan gelombang untuk setiap interval di letakkan pada setiap file yang berbeda. Pada percobaan ini, 3 sampel percobaan diambil dengan interval 5 menit diambil untuk menentukan nilai Hi dan Ti gelombang.

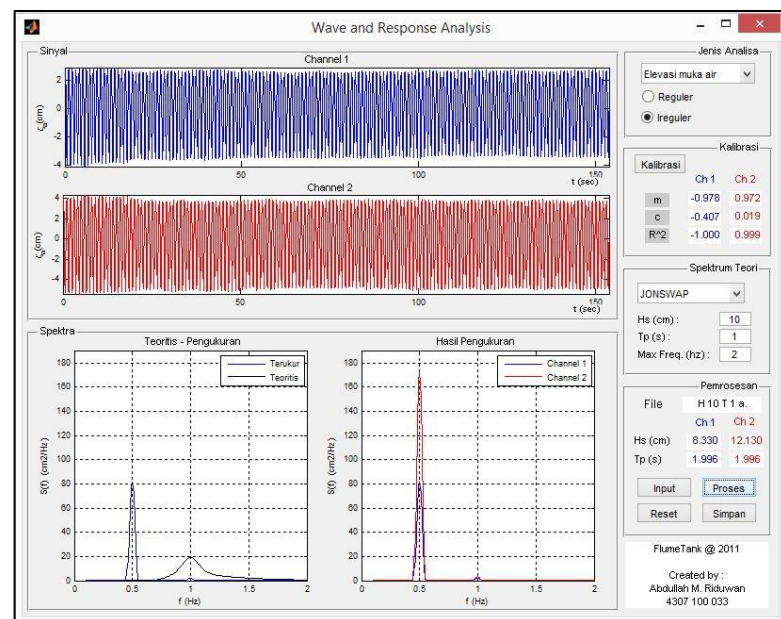
Tampilan Warelab dapat dilihat pada gambar 4.3. Proses pertama menentukan jenis gelombang yang akan di analisa. Kemudian melakukan proses kalibrasi berdasarkan nilai yang terdapat pada file excel hasil kalibrasi. Apabila



jenis gelombang yang akan dianalisa berupa gelombang ireguler, maka selanjutnya menentukan jenis spektrum yang digunakan dan menentukan nilai  $H_p$  dan  $T_p$  rencana. Inputkan file pada kemudian proses file yang akan kita kerjakan. Dari hasil proses tersebut maka diperoleh nilai  $H_p$  dan  $T_p$  gelombang hasil bacaan wave probe. Berikut hasil pembacaan pada percobaan ke 1 yang merupakan olahan dengan menggunakan WareLab.

**Tabel 4.1.** Hasil nilai olahan WareLab

Percobaan ke	Jenis Gelombang	Ch 1 ( Depan)		Ch2 (Belakang)	
		Hm (cm)	T (detik)	Hm (cm)	T (detik)
1	Reguler	8.3	2.0	12.1	2.0
2		17.2	2.0	23.1	2.0
3		11.4	4.0	11.1	4.0
4		17.3	4.0	21.8	4.0
5		9.7	2.0	12.7	2.0
6		19.5	2.0	23.5	2.0
7		11.3	4.0	10.5	4.0
8		18.2	4.0	21.7	4.0
9	Ireguler (JONSWAP)	6.1	2.2	6.9	2.2
10		9.0	2.2	10.0	2.1
11		11.2	2.2	12.9	2.2
12		6.0	1.9	6.9	2.2
13		8.9	2.1	10.4	2.2
14		10.7	2.0	12.5	2.1

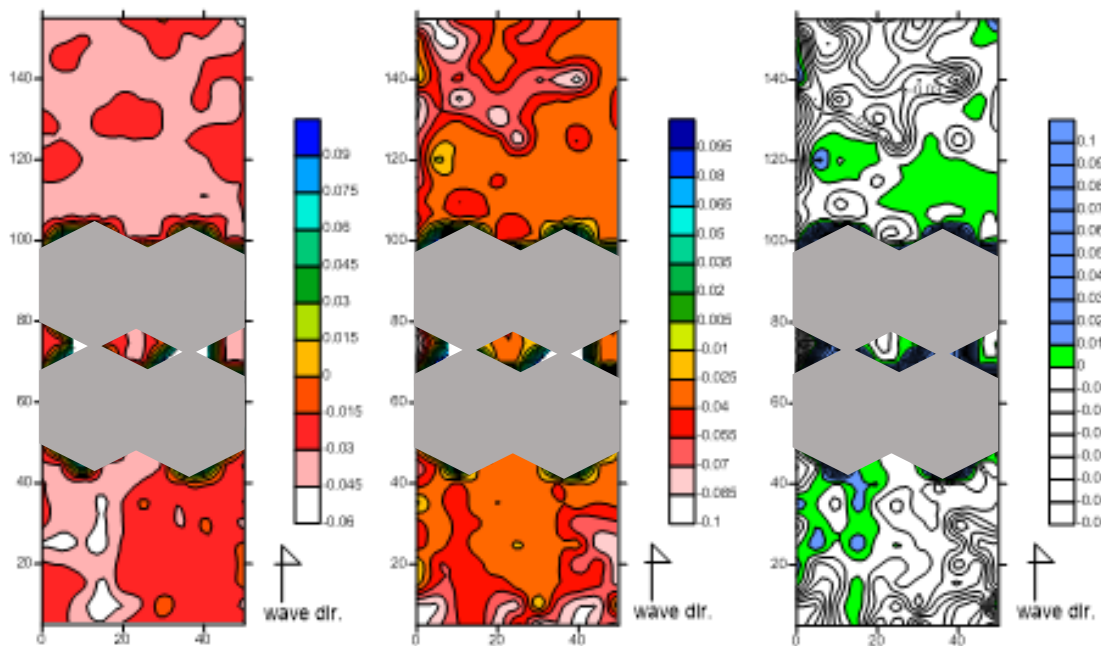


**Gambar 4.3.** Tampilan WareLab

Ch 1 merupakan nilai tinggi dan periode gelombang yang terekam pada wave probe 1, sedangkan nilai Ch 2 merupakan nilai tinggi dan periode gelombang yang terekam pada wave probe 2. Pada penelitian ini, nilai yang digunakan sebagai analisa karakteristik *scouring* adalah nilai Ch 1 yang merupakan nilai gelombang datang yang akan mempengaruhi karakteristik *scouring* di sekitar struktur.

#### 4.2 Profil Hasil Percobaan untuk Gelombang Reguler

Berdasarkan percobaan yang dilakukan untuk jenis gelombang reguler, perubahan terbesar pada percobaan ke 4 dengan gap 0D untuk tinggi gelombang 17.3 cm dan periode gelombang 4 detik serta percobaan ke 8 dengan gap 1D untuk tinggi gelombang 18.2 cm dan periode gelombang 4 detik. Sedangkan untuk jenis gelombang ireguler, perubahan terbesar pada percobaan ke 11 dengan gap 0D untuk tinggi gelombang 11.2 cm dan periode gelombang 2.2 detik serta percobaan ke 14 dengan gap 1D untuk tinggi gelombang 10.7 cm dan periode gelombang 2 detik.

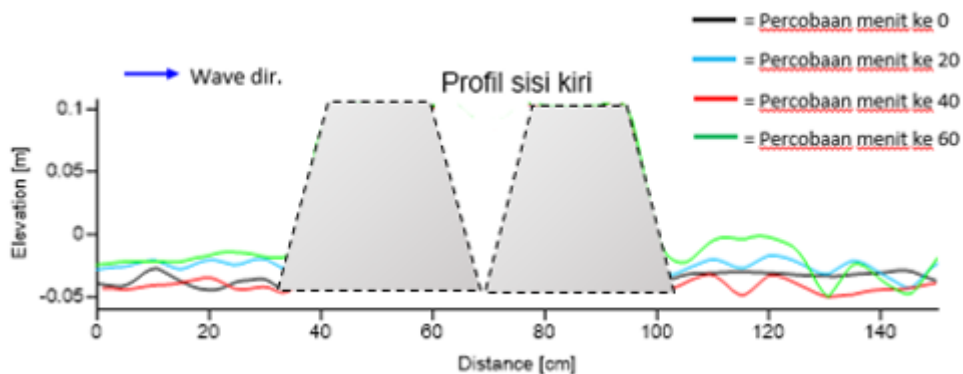


**Gambar 4.4.** Gambar kontur untuk percobaan ke 4 (0D) untuk sebelum percobaan (kiri), menit ke 60 (tengah), dan selisih kedalaman (kanan).

Dari gambar 4.4, dapat dilihat bahwa perubahan elevasi lapis tanah akibat *scouring* oleh gelombang secara bertahap mengalami perluasan pada bagian depan dan belakang struktur. Perubahan kontur dapat dilihat pada gambar 4.4 kanan.

Perubahan muka pasir setelah akhir percobaan menit ke 60 terlihat pada sisi kiri depan struktur mengalami sedimentasi dan sisi belakang struktur mengalami penurunan ketinggian lapis pasir. Sisi kanan struktur mengalami perbedaan dengan sisi kiri, sisi kanan depan mengalami *scouring* dan sisi kanan belakang mengalami sedimentasi. Pada bagian tengah struktur terjadi sedikit sedimentasi pada sekelilingnya, namun pada bagian tertentu mengalami *scouring*.

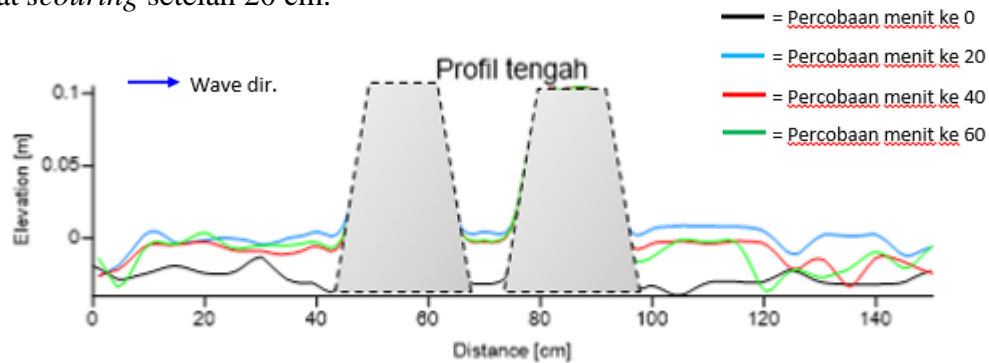
Perubahan kontur muka pasir dapat digambarkan untuk potongan melintang (*cross section*) seperti pada gambar dibawah. Profil digambarkan untuk jarak 10 cm (sisi kiri), 25 cm (tengah), dan 40 cm (sisi kanan) yang di hitung dari dinding kaca kolam gelombang. Untuk profil sisi kiri, bagian depan untuk menit ke 20 dan 60, tinggi lapis tanah berada lebih tinggi dari tinggi lapis tanah pada menit ke 0, sehingga terjadi sedimentasi pada percobaan tersebut. Namun pada menit 40, tinggi lapis pasir menyerupai ketinggian muka pasir pada menit ke 0. *Scouring* pada menit ke 40 terjadi perubahan perpindahan sedimen karena penurunan struktur akibat *scouring* di sekitar strukur.



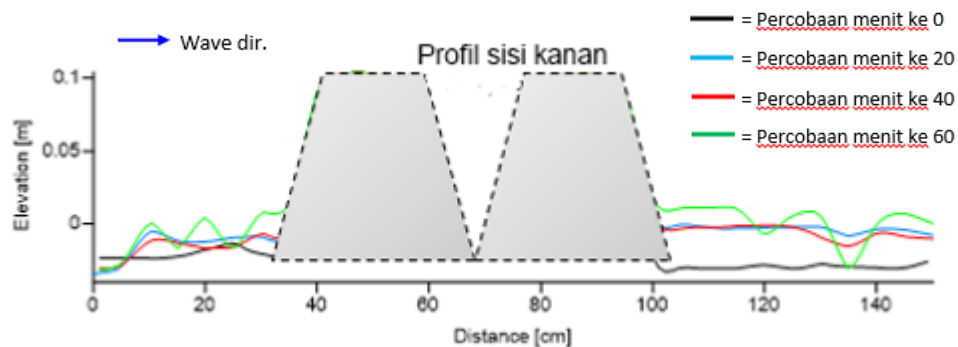
**Gambar 4.5.** Potongan Melintang profil sisi kiri (10 cm) untuk percobaan ke 4 dengan interval waktu 20 menit.

Untuk potongan melintang profil tengah (25 cm dari sisi dinding kaca), didominasi kejadian sedimentasi pada bagian depan struktur. Sedimentasi tertinggi terjadi pada percobaan menit ke 20 dan terendah pada menit ke 40. Bagian tengah struktur mengalami sedimentasi akibat pergerakan sedimen yang terperangkap di antara struktur. Bagian belakang struktur mengalami sedimentasi sepanjang 20 cm di belakang struktur. Setelah 20 cm, *scouring* terjadi sehingga mengalami penurunan muka pasir seperti pada gambar 4.6.

Potongan melintang sisi kanan (40 cm dari sisi dinding kaca), pada bagian depan mengalami fluktuasi perubahan muka pasir, namun dengan awal kejadian yang sama yaitu *scouring* pada bagian depan struktur. Perubahan muka pasir sangat terlihat pada percobaan menit ke 60. Bagian belakang struktur didominasi sedimentasi untuk jarak 20 cm di belakang struktur dan baru mengalami perubahan akibat *scouring* setelah 20 cm.



**Gambar 4.6.** Potongan melintang profil tengah (25 cm) untuk percobaan ke 4 dengan interval waktu 20 menit.

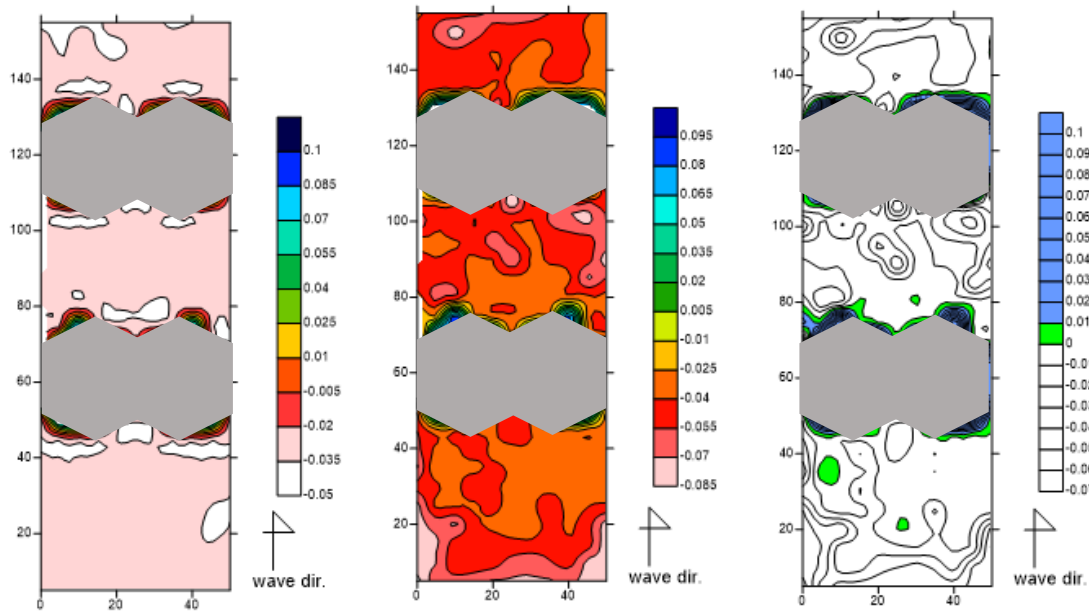


**Gambar 4.7.** Potongan melintang profil sisi kanan (40cm) untuk percobaan ke 4 dengan interval waktu 20 menit.

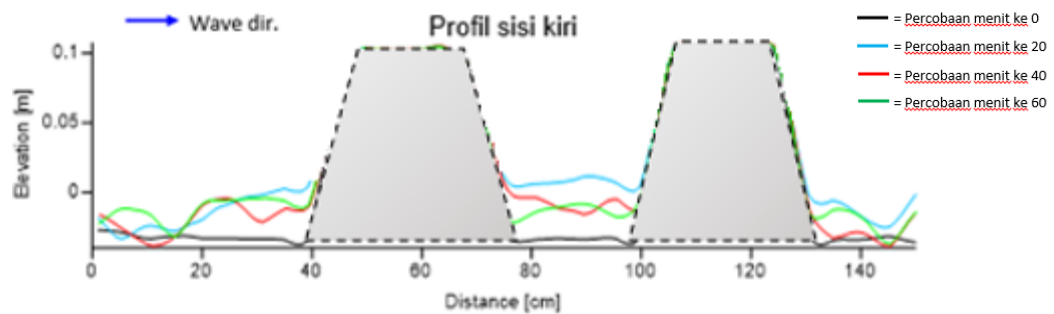
Untuk percobaan dengan konfigurasi jarak gap 1D, tinggi gelombang 20 cm dan periode gelombang 2 detik, dapat digambarkan seperti pada gambar 4.8. Perubahan muka pasir terlihat merata dengan kejadian *scouring* yang sama pada bagian depan dan belakang struktur. Pada bagian tengah struktur (bagian gap), mengalami *scouring*, berbeda dengan bagian tengah untuk percobaan ke 4.

Gambar perubahan muka pasir dapat dilihat pada gambar potongan melintang untuk setiap bagian, yaitu bagian sisi kiri (10 cm), sisi tengah (25 cm),

dan sisi kanan (40 cm) dari sisi dinding kaca kolam gelombang seperti pada gambar 4.9, 4.10 dan 4.11.

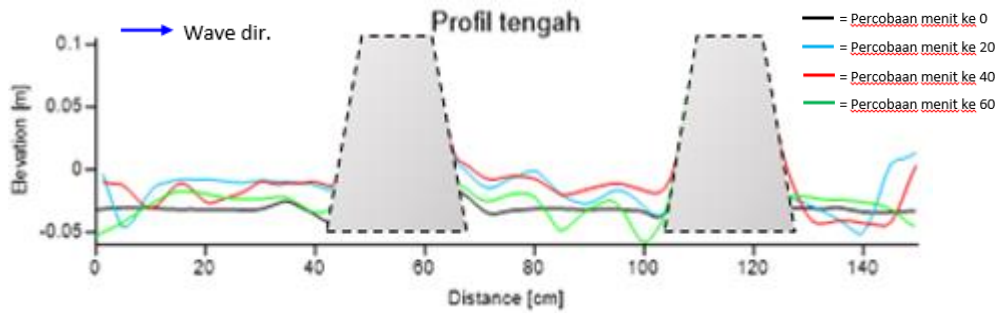


**Gambar 4.8.** Gambar kontur untuk percobaan ke 8 (1D) untuk sebelum percobaan (kiri), menit ke 60 (tengah), dan selisih kedalaman (kanan).

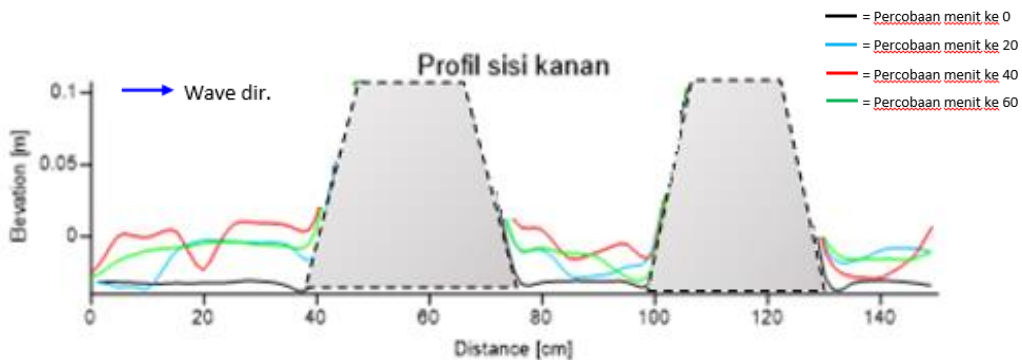


**Gambar 4.9.** Potongan melintang profil sisi kiri (10cm) untuk percobaan ke 8 dengan interval waktu 20 menit.

Profil sisi kiri (10 cm) dapat dilihat pada gambar 4.9 diatas. Fluktuasi perubahan muka pasir terlihat pada bagian depan, tengah dan belakang struktur. Secara keseluruhan perubahan yang terjadi merupakan sedimentasi pada sekitar struktur. Pada jarak 10 cm di depan dan dibelakang struktur didominasi terjadi sedimentasi.



**Gambar 4.10.** Potongan melintang profil sisi tengah (25cm) untuk percobaan ke 8 dengan interval waktu 20 menit.



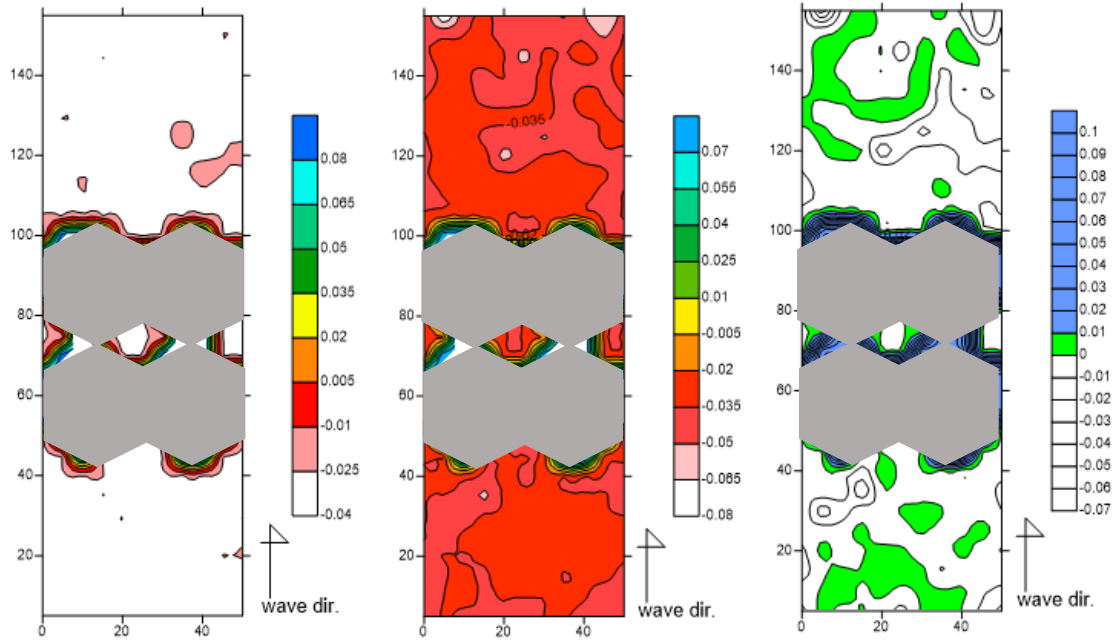
**Gambar 4.11.** Potongan melintang profil sisi kanan (40cm) untuk percobaan ke 8 dengan interval waktu 20 menit.

Profil bagian tengah seperti pada gambar 4.10 diatas, terlihat *scouring* terjadi pada menit ke 60 pada bagian depan struktur dan bagian tengah struktur. Pada menit ke 20 dan 40 terjadi fluktuasi yang didominasi kejadian sedimentasi. *Scouring* terbesar terjadi pada bagian tengah struktur untuk sisi depan struktur bagian belakang.

Pada profil sisi kanan, seperti pada gambar 4.11 diatas, fluktuasi muka pasir serupa dengan profil sisi kiri pada gambar 4.6. Pada bagian depan dan belakang struktur mengalami sedimentasi. Bagian tengah struktur mengalami fluktuasi perubahan ketinggian muka pasir dengan kejadian dominan berupa sedimentasi. Pada menit 60, ketinggian muka pasir pada depan struktur bagian belakang sama dengan ketinggian pada saat menit ke 0.

### 4.3 Profil Hasil Percobaan untuk Gelombang Ireguler

Pada percobaan dengan gelombang ireguler, perubahan terbesar terjadi pada percobaan ke 11 untuk jarak gap 0D dengan  $H_m$  sebesar 11.2 cm dan  $T_p$  sebesar 2.2 detik serta percobaan ke 14 untuk jarak gap 1D dengan  $H_m$  sebesar 10.7 cm dan  $T_p$  sebesar 2 detik. Perubahan kontur dari lapis pasir dapat dilihat pada gambar 4.12.



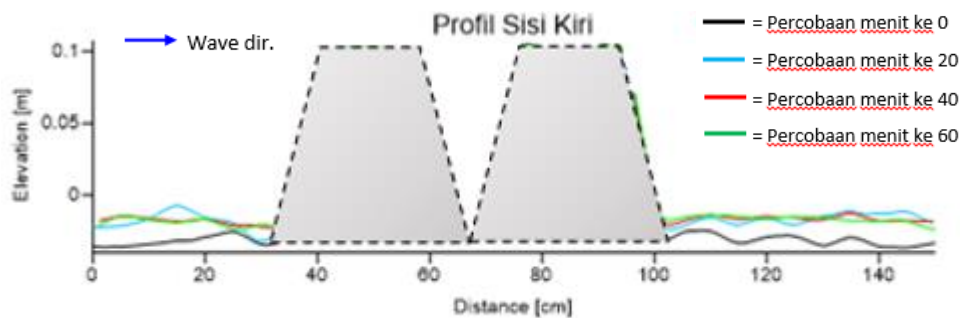
**Gambar 4.12.** Gambar kontur untuk percobaan ke 11 (0D) untuk sebelum percobaan (kiri), menit ke 60 (tengah), dan selisih kedalaman (kanan)

Dari gambar diatas terlihat bahwa perubahan muka pasir banyak terjadi pada bagian belakang struktur. Pada bagian belakang struktur beberapa tempat terjadi sedimentasi, terlihat pada gambar 4.12 (kanan) beberapa lokasi berwarna hijau yang menandakan lokasi tersebut mengalami penambahan sedimen dari depan struktur. Seperti pada bagian belakang struktur sebelah kanan, terdapat beberapa titik berwarna hijau. *Scouring* juga terjadi dibagian depan dan belakang struktur dengan digambarkan warna putih pada gambar 4.12 (kanan).

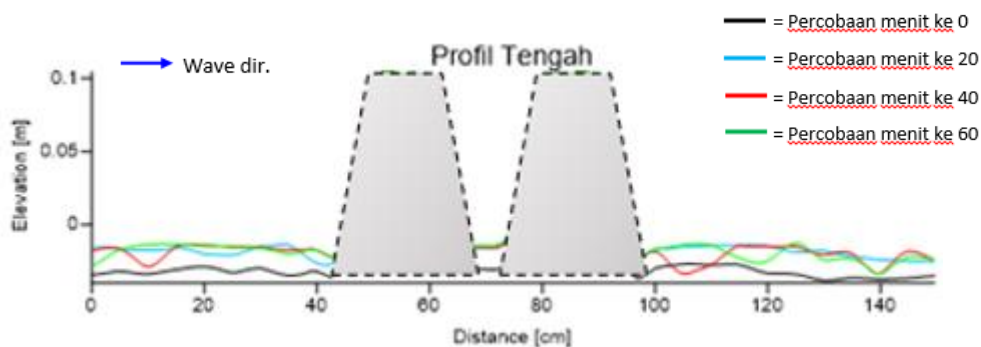
Potongan melintang (cross section) dari kontur yang terbentuk ditampilkan seperti pada gambar perubahan muka pasir dapat dilihat pada gambar potongan melintang untuk setiap bagian, yaitu bagian sisi kiri (10 cm), sisi tengah (25 cm), dan sisi kanan (40 cm) dari sisi dinding kaca kolam gelombang.



Profil sisi kiri (10 cm dari dinding lapis kaca kolam gelombang) seperti pada gambar 4.13 dibawah. Terlihat tren kejadian perubahan muka pasir dikarenakan oleh sedimentasi yang terjadi di depan dan di belakang struktur. Fluktuasi perubahan terlihat dibagian depan struktur untuk percobaan menit ke 20. Muka pasir bagian depan struktur untuk menit ke 40 dan 60 memiliki kesamaan pola.



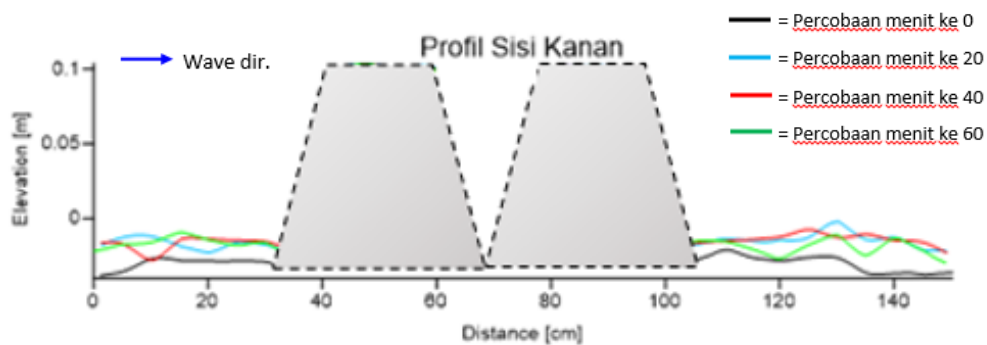
**Gambar 4.13.** Potongan melintang profil sisi kiri (10cm) untuk percobaan ke 11 dengan interval waktu 20 menit.



**Gambar 4.14.** Potongan melintang profil tengah (25cm) untuk percobaan ke 11 dengan interval waktu 20 menit.

Profil sisi tengah (25 cm dari dinding lapis kaca kolam gelombang) pada gambar 4.14 diatas terlihat memiliki kejadian yang sama seperti pada profil sisi kiri, yaitu kejadian didominasi oleh sedimentasi di depan dan di belakang struktur. Fluktuasi perubahan ketinggian muka pasir terlihat pada percobaan menit ke 40 dan 60. Pada sisi dibelakang struktur, perubahan terbesar terjadi pada percobaan menit ke 40, dan pada menit ke 60 memiliki ketinggian muka pasir yang sama dengan menit ke 20. Bagian tengah struktur mengalami sedimentasi akibat sedimen yang terperangkap di antara struktur.



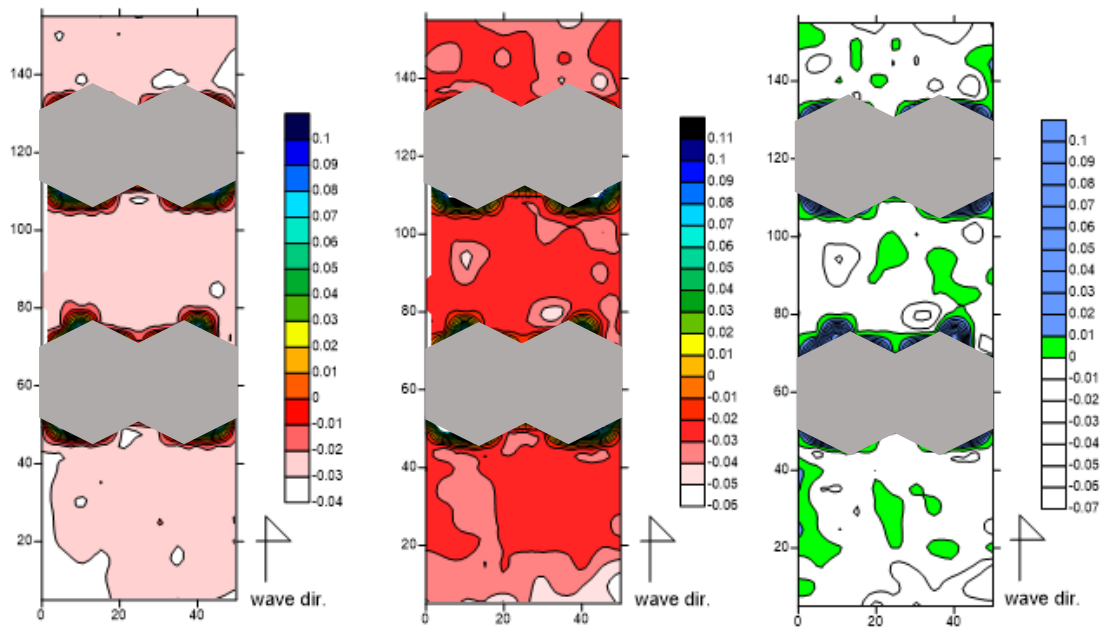


**Gambar 4.15.** Potongan melintang profil sisi kanan (40cm) untuk percobaan ke 11 dengan interval waktu 20 menit.

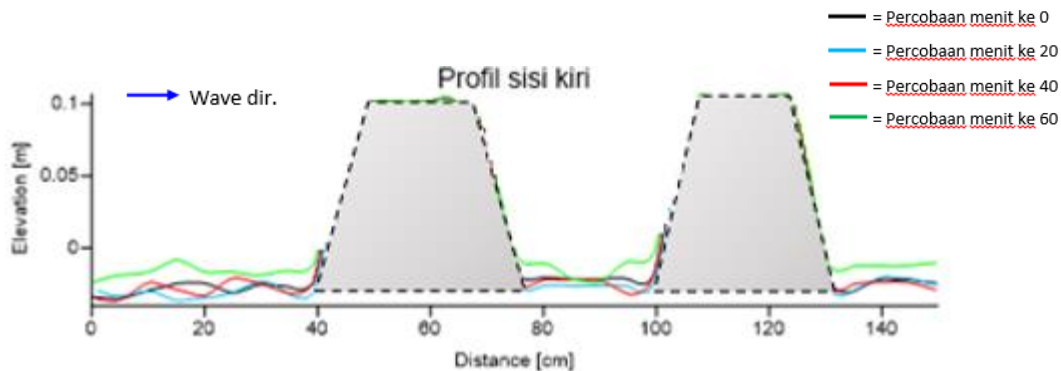
Profil sisi kanan (40 cm dari dinding lapis kaca kolam gelombang) pada gambar 4.15 memiliki perubahan muka pasir pada bagian belakang struktur yang berbeda untuk setiap menit intervalnya. Ketinggian muka pasir bagian belakang struktur tertinggi pada percobaan menit ke 20 dan pada bagian depan struktur terjadi pada menit ke 60. Kejadian sedimentasi terjadi pada bagian depan dan belakang struktur bila dibandingkan dengan kondisi awal sebelum percobaan.

Kontur untuk hasil percobaan ke 14 dengan konfigurasi jarak gap 1D, dengan ketinggian gelombang ( $H_m$ ) 10.703 cm dan periode gelombang ( $T_p$ ) 2.035 detik dapat dilihat pada gambar 4.16. Pada beberapa lokasi pada bagian depan dan belakang struktur mengalami sedimentasi, seperti pada bagian depan sisi kiri struktur, dan belakang sisi kanan struktur. Pada bagian tengah struktur (gap struktur), sedimentasi hanya terjadi pada sisi kanan struktur, sedangkan pada sisi kiri struktur terjadi *scouring* atau berkurangnya ketinggian muka pasir.

Profil potongan melintang (*cross section*) untuk hasil percobaan ke 14 ini dapat dilihat dari beberapa tinjauan, yaitu sisi kiri (10 cm dari dinding kaca kolam gelombang), sisi tengah (25 cm dari dinding kaca kolam gelombang), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca kolam gelombang). Profil sisi kiri (10 cm) dapat dilihat pada gambar 4.17 bawah. Pada bagian depan struktur, untuk percobaan pada menit ke 20 dan 40, pasir pada bagian depan mengalami *scouring*, sehingga ketinggian muka pasir berada di bawah tinggi awal percobaan. Pada akhir menit ke 60, terjadi sedimentasi pada bagian depan struktur, sehingga ketinggian muka pasir berubah.



**Gambar 4.16.** Gambar kontur untuk percobaan ke 14 (1D) untuk sebelum percobaan (kiri), menit ke 60 (tengah), dan selisih kedalaman (kanan)



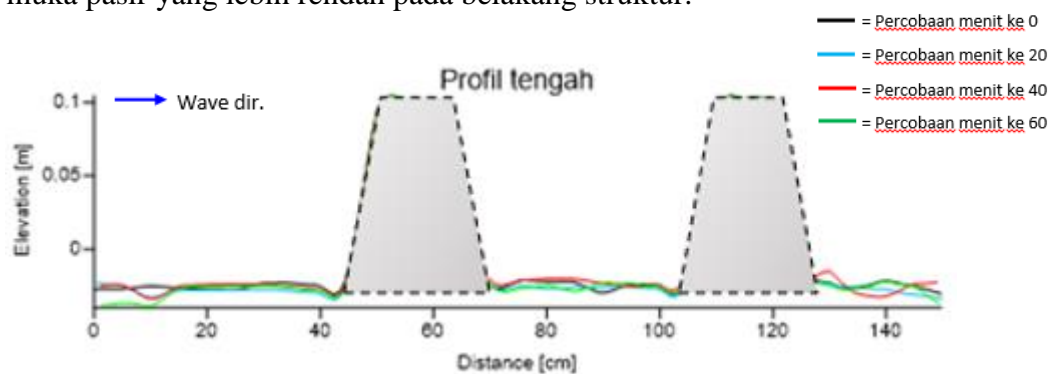
**Gambar 4.17.** Potongan melintang profil sisi kiri (10cm) untuk percobaan ke 14 dengan interval waktu 20 menit.

Bagian belakang struktur mengalami sedimentasi pada akhir menit ke 60, namun pada menit ke 20 dan 40 pola muka pasir memiliki tinggi dan pola yang sama dengan kondisi awal. Pada bagian tengah struktur (gap struktur) mengalami *scouring* pada bagian tengah sedangkan pada bagian sisi-sisi struktur mengalami sedimentasi untuk menit ke 60.

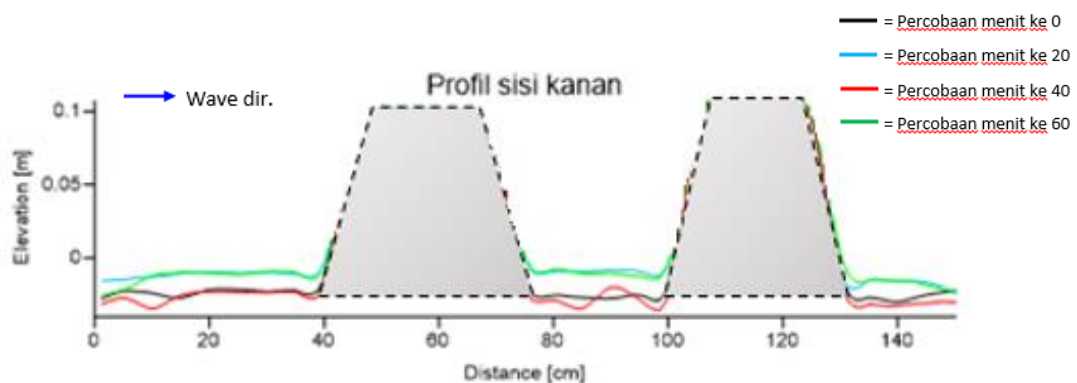
Potongan melintang untuk sisi tengah dan sisi kanan dapat dilihat pada gambar 4.18 dan gambar 4.19 dibawah. Pada profil sisi tengah, tidak terlalu banyak terjadi perubahan muka pasir. Kejadian *scouring* terjadi pada percobaan menit ke

60, untuk bagian depan dan belakang struktur. Pada bagian tengah struktur memiliki muka pasir yang serupa untuk setiap interval percobaan. Fluktuasi perubahan ketinggian muka pasir terlihat pada bagian belakang struktur terutama pada percobaan untuk menit ke 40. Pada tepat dibelakang struktur mengalami sedikit sedimentasi yang kemudian mengalami *scouring* pada jarak 10 cm dari belakang struktur.

Pada profil sisi kanan (gambar 4.19) didominasi kejadian sedimentasi untuk percobaan pada menit ke 20 dan 60. Pada menit ke 40, tinggi dan pola muka pasir menyerupai pada kondisi awal sebelum dimulai percobaan. Terlihat sedikit fluktuasi pada menit ke 40 untuk bagian tengah struktur dan memiliki ketinggian muka pasir yang lebih rendah pada belakang struktur.



**Gambar 4.18.** Potongan melintang profil sisi tengah (25cm) untuk percobaan ke 14 dengan interval waktu 20 menit.



**Gambar 4.19.** Potongan melintang profil sisi kanan (40cm) untuk percobaan ke 14 dengan interval waktu 20 menit.

Dari hasil pengujian diatas, terlihat bahwa *scouring* maksimum terjadi pada pengujian dengan menggunakan gelombang reguler. Hal itu terjadi karena besar energi gelombang yang mengenai muka pasir yang diterima setiap waktu memiliki

besar energi yang sama. *Scouring* dan sedimentasi yang terjadi pada sekitar struktur untuk setiap konfigurasi jarak gap mengalami ketidakkonsistenan pada setiap bagian lokasi *scouring* dikarenakan beberapa hal diantaranya :

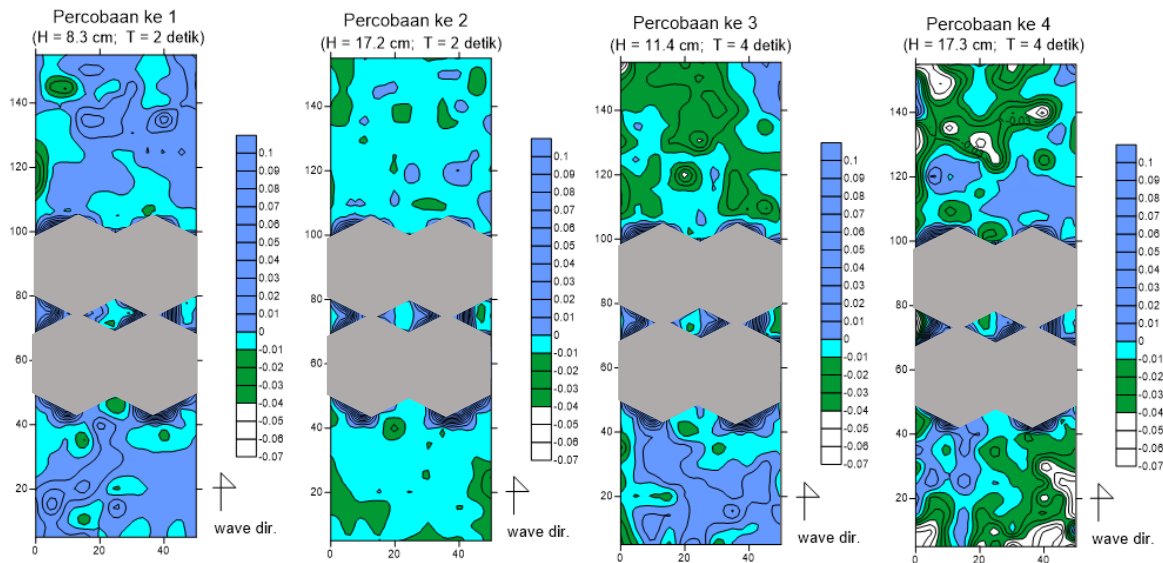
1. Terdapat celah antara struktur dengan dinding penyekat, sehingga sedimen dapat melewati struktur dengan mudah tanpa adanya halangan oleh struktur itu sendiri.
2. Ketidakkonsistenan kekedapan kolam pasir sebagai areal uji *scouring*, terdapat beberapa bagian pada kolam pasir yang mengalami kebocoran, sehingga pasir dapat lolos keluar.

Dari kondisi tersebut maka, kesetimbangan *scouring* dan sedimentasi tidak tercapai dikarenakan pada salah satu sisi tidak memiliki kondisi yang sama halnya pada sisi yang lainnya.

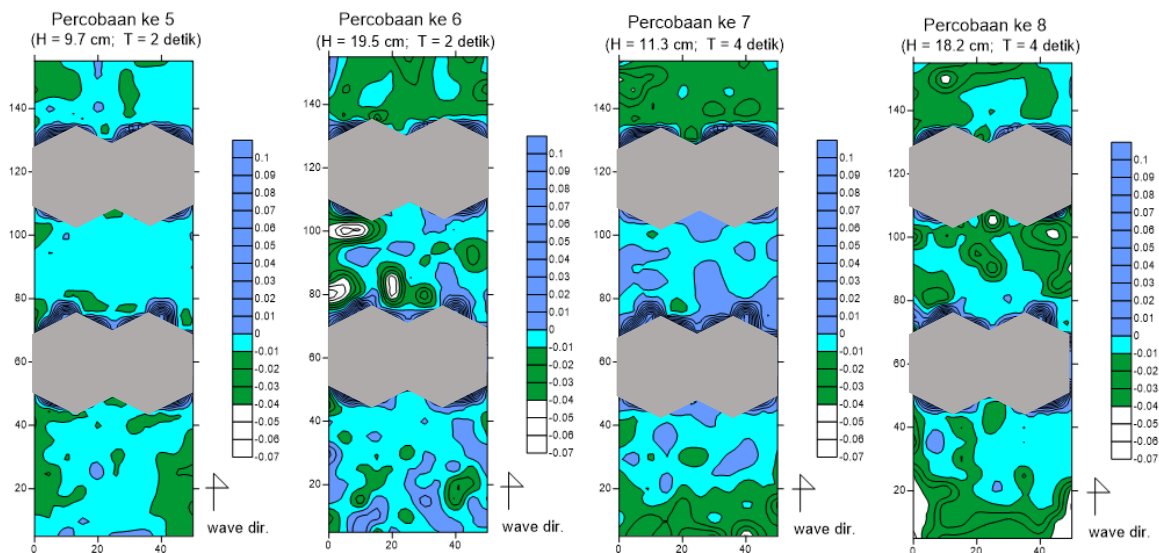
#### **4.4 Perbandingan Karakteristik *Scouring* Akibat Gelombang**

Untuk setiap konfigurasi jarak gap, dilakukan beberapa kali pengujian dengan jenis gelombang yang berbeda. Perbandingan dilakukan terhadap selisih nilai plot untuk menit ke 60 terhadap kondisi awal untuk setiap percobaan yang dilakukan. Dari nilai selisih tersebut maka dapat diketahui pada lokasi tertentu mengalami fenomena *scouring* dan sedimentasi akibat peletakan struktur.

Pada tiap percobaan memiliki karakteristik gelombang yang berbeda. Warna biru tua menandakan terjadi sedimentasi, sedangkan warna biru muda, hijau dan putih menandakan terjadi *scouring*. Pada gambar 4.20 dibawah, untuk percobaan ke 1 dibandingkan dengan percobaan ke 3 serta percobaan ke 2 dibandingkan dengan percobaan ke 4 terlihat memiliki tren pertambahan kedalaman *scouring* pada sisi belakang struktur, kecuali pada percobaan ke 4 juga mengalami penambahan di bagian depan struktur. Dengan perbandingan tersebut maka, dengan tinggi gelombang yang sama dan periode berbeda. Semakin besar periode gelombang, maka semakin besar *scouring* yang terjadi pada areal struktur.



**Gambar 4.20.** Perbandingan profil menit ke 60 untuk setiap percobaan dengan nilai gap 0D dan gelombang reguler



**Gambar 4.21.** Perbandingan profil menit ke 60 untuk setiap percobaan dengan nilai gap 1D dan gelombang reguler

Untuk periode yang sama, dengan tinggi gelombang yang berbeda dapat dibandingkan antara percobaan 1 dengan 2 dan percobaan 3 dengan 4. Terlihat pada percobaan 1 sedimentasi terjadi pada bagian depan dan belakang struktur, namun pada percobaan ke 2, sedikit sedimentasi yang terbentuk dan *scouring* terjadi di sekitar struktur. Pada percobaan ke 3, sedimentasi terjadi pada depan struktur dengan area yang luas, sedangkan pada percobaan ke 4 sedimentasi di bagian depan struktur berkurang dan sedimen berpindah ke bagian belakang struktur. *Scouring*

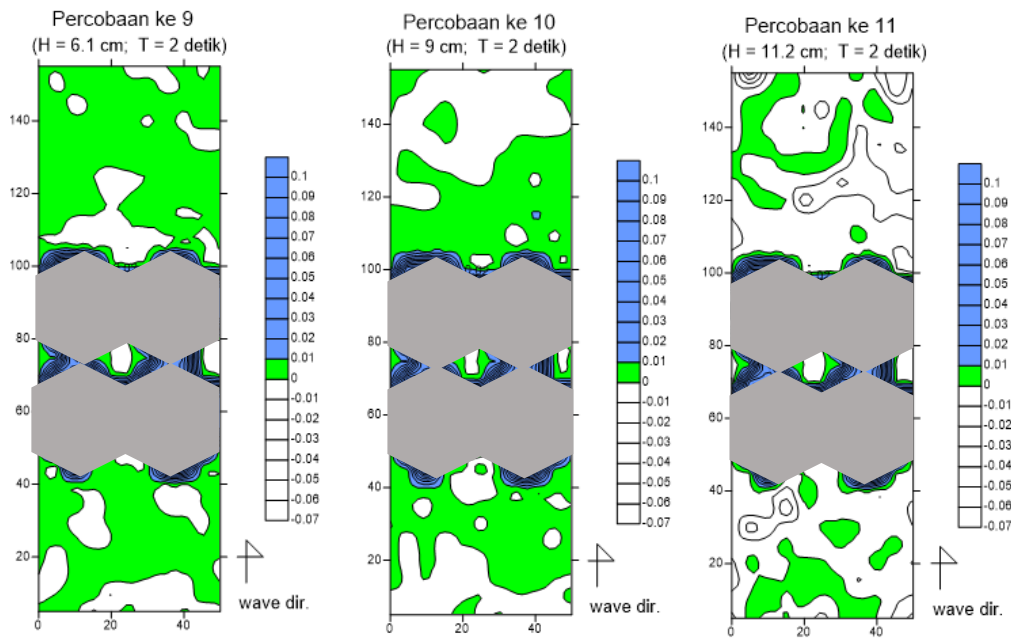
yang terbentuk mengalami penambahan kedalaman dibagian tertentu. Dengan perbandingan tersebut maka semakin besar tinggi gelombang datang, maka semakin besar *scouring* yang terjadi.

Sama seperti pada perbandingan profil untuk konfigurasi nilai gap 0D. Terlihat pada perbandingan dengan nilai periode gelombang sama untuk tinggi gelombang yang berbeda. Untuk percobaan 5 dengan 6 dan 7 dengan 8 memiliki karakteristik penambahan *scouring* yang sama namun berbeda lokasi. Pada percobaan 5 dengan 6, penambahan *scouring* terjadi pada bagian tengah dan belakang struktur, sedangkan pada percobaan ke 7 dan 8 terjadi pada depan dan tengah struktur. Lihat gambar 4.21.

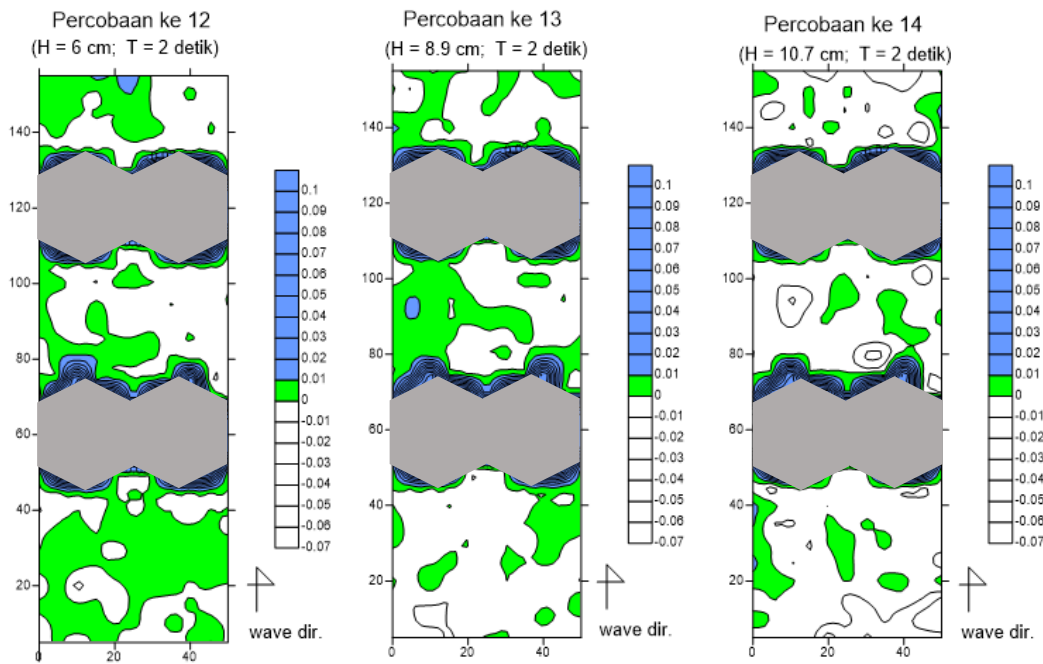
Penambahan *scouring* signifikan terjadi pada penambahan nilai periode gelombang dengan nilai tinggi gelombang tetap, seperti pada percobaan ke 5 dengan 7 dan 6 dengan 8. Pada percobaan 5 dengan 7, terjadi penambahan *scouring* pada sisi belakang struktur dan depan struktur, namun terjadi sedimentasi pada tengah struktur. Pada percobaan 6 dengan percobaan ke 8, *scouring* mengalami penambahan signifikan pada bagian depan struktur namun terjadi sedimentasi pada bagian tengah dan belakang struktur. Sehingga muka pasir yang tergerus pada bagian depan struktur berpindah menuju ke bagian tengah dan belakang struktur.

Pada pengujian dengan menggunakan gelombang ireguler, hanya dapat dibandingkan terhadap perubahan nilai ketinggian gelombang, hanya dilakukan variasi ketinggian gelombang tanpa mengubah periode gelombang datang. Warna hijau dan biru tua menandakan terjadinya sedimentasi pada lokasi tersebut, sedangkan putih menandakan terjadinya *scouring*.

Berdasarkan gambar 4.22 dan 4.23 dibawah, perbandingan pengaruh ketinggian gelombang terhadap *scouring* untuk gelombang ireguler diperoleh kesimpulan bahwa secara konsisten semakin besar nilai ketinggian gelombang, maka semakin besar pula *scouring* yang terjadi pada sekitar areal struktur tersebut baik untuk jarak gap 0D maupun 1D.



**Gambar 4.22.** Perbandingan profil menit ke 60 untuk setiap percobaan dengan nilai gap 0D dan gelombang ireguler



**Gambar 4.23.** Perbandingan profil menit ke 60 untuk setiap percobaan dengan nilai gap 1D dan gelombang ireguler

#### 4.5 Analisa *Scouring* Maksimum

Data hasil pengujian *scouring* pada terumbu buatan bentuk heksagonal dapat dilihat pada tabel 4.3 untuk setiap pengujian. Nilai kedalaman *scouring* maksimum ( $S_m$ ) terbesar pada pengujian dengan gap jarak struktur 0D adalah 5 cm dan terkecil 2.9 cm. Untuk pengujian dengan gap jarak struktur 1D, nilai kedalaman *scouring* maksimum terbesar 5,3 cm dan terkecil 3 cm. Kedalaman *scouring* maksimum dalam penelitian ini adalah kedalaman maksimum di depan dan belakang struktur setelah diuji dalam kolam gelombang (*wave flume*) selama 60 menit dengan pencatatan kedalaman per 5 menit (lihat lampiran D).

Jarak struktur dengan titik *scouring* maksimum pada pengujian terumbu buatan untuk setiap pengujian berbeda-beda. Dalam penelitian ini, jarak struktur dengan titik *scouring* maksimum tidak diperhitungkan, sehingga dapat diasumsikan kejadian *scouring* maksimum terjadi di depan dan belakang struktur.

**Tabel 4.2.** Pencatatan kedalaman *scouring* maksimum tiap pengujian

Jenis Gelombang	Jarak Gap	Hi [cm]	Ti [detik]	Kedalaman <i>Scouring</i> [cm]		W [cm]
				Depan	Belakang	
Reguler	0D	8.3	2.0	2.9	3.7	37
		17.2	2.0	3.8	3.9	37
		11.4	4.0	4.4	4.2	37
		17.3	4.0	5.0	4.4	37
	1D	9.7	2.0	3.5	4.0	30.83
		19.5	2.0	4.3	4.0	30.83
		11.3	4.0	4.1	4.3	30.83
		18.2	4.0	4.2	5.3	30.83
Ireguler	0D	6.1	2.2	3.6	3.5	37
		9.0	2.2	3.9	3.4	37
		11.2	2.2	4.0	3.6	37
	1D	6.0	1.9	3.0	3.0	30.83
		8.9	2.1	3.3	3.1	30.83
		10.7	2.0	3.6	3.1	30.83



W merupakan lebar efektif puncak struktur. Lebar efektif puncak struktur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.1.

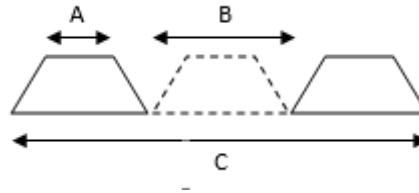
$$nA - \frac{B}{C} A \quad (4.1)$$

dimana A = lebar puncak struktur [cm]

B = perbandingan lebar gap dengan lebar struktur

C = perbandingan lebar keseluruhan struktur dengan lebar struktur

Contoh dalam pengujian ini, untuk jarak gap 1D, maka dapat diilustrasikan sebagai berikut



**Gambar 4.24.** Ilustrasi perhitungan lebar efektif struktur

sehingga diperoleh nilai A = 18.5, nilai B = 1, dan nilai C = 3. Dari nilai tersebut maka diperoleh lebar efektif puncak struktur sebesar 30.83 cm. Semakin besar jarak gap, maka nilai lebar efektif akan semakin kecil.

Apabila karakteristik *scouring* yang terjadi pada sekitar struktur disimbolkan dengan notasi S, maka secara umum karakteristik *scouring* dalam penelitian ini merupakan fungsi dari beberapa parameter di bawah ini :

$$S = f(W, H_i, T, h, d_{50}, \rho, \rho_s, g) \quad (4.2)$$

dengan,

W = lebar efektif puncak struktur (m)

H<sub>i</sub> = tinggi gelombang datang (m)

T = periode gelombang datang (detik)

h = kedalaman perairan (m)

d<sub>50</sub> = median ukuran diameter sedimen (m)

g = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

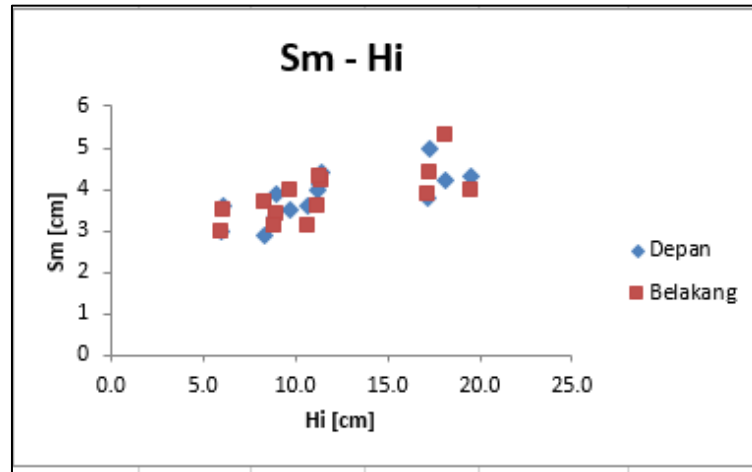
$\rho$  = massa jenis air ( $\text{Kg/m}^3$ )

$\rho_s$  = massa jenis sedimen ( $\text{Kg/m}^3$ )

dengan analisa dimensi, diperoleh parameter tidak berdimensi yang digunakan untuk menganalisa data dalam penelitian ini adalah :

$$\frac{Sm}{W} = f\left(\frac{Hi}{W}, \frac{h}{gT^2}, \frac{d_{50}}{W}, \frac{\rho_s}{\rho}\right) \quad (4.3)$$

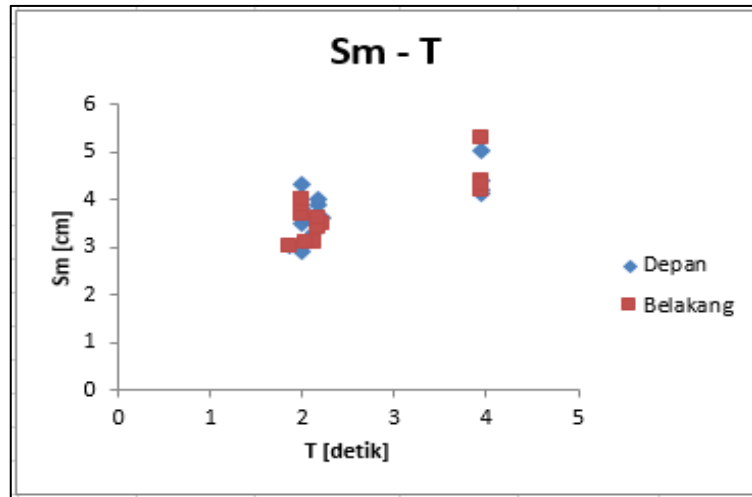
Dari hasil data kedalaman maksimum *scouring* di sekitar terumbu buatan bentuk heksagonal, dapat di plot antara kedalaman *scouring* maksimum dengan beberapa parameter lain, diantaranya



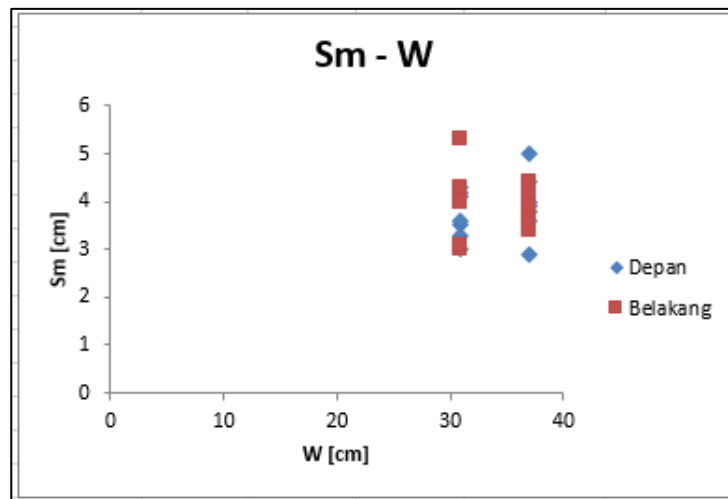
**Gambar 4.25.** Diagram pencar data *scouring* maksimum terhadap tinggi gelombang ( $H_i$ )

Dari diagram pencar diatas, dapat dilihat bahwa baik untuk kedalaman *scouring* maksimum untuk di depan dan dibelakang struktur linear dengan kenaikan nilai tinggi gelombang. Hal ini menunjukkan bahwa kedalaman *scouring* maksimum meningkat seiring peningkatan tinggi gelombang.

Untuk korelasi terhadap periode gelombang, dapat dilihat pada gambar 4.26, baik untuk di depan dan dibelakang struktur besar nilai kedalaman *scouring* maksimum meningkat seiring dengan peningkatan periode gelombang. Sehingga semakin besar periode gelombang datang, maka semakin besar *scouring* maksimum yang terjadi.



**Gambar 4.26.** Diagram pencar data *scouring* maksimum terhadap periode gelombang (T)

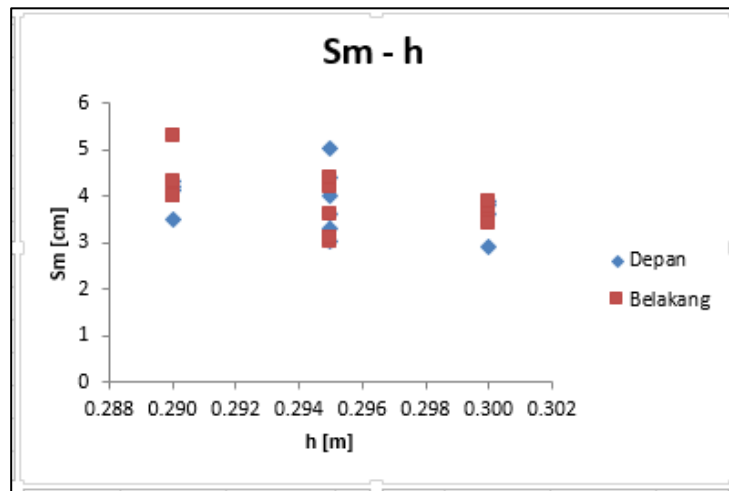


**Gambar 4.27.** Diagram pencar data *scouring* maksimum terhadap lebar efektif puncak struktur (W)

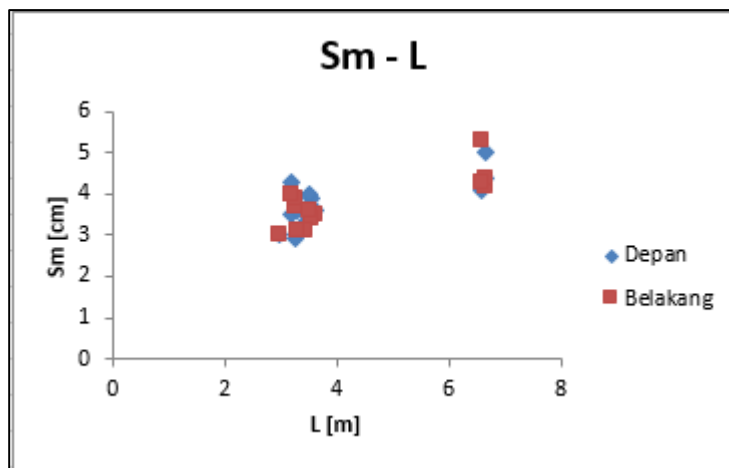
Diagram pencar hubungan *scouring* maksimum terhadap lebar efektif puncak struktur dapat dilihat pada gambar 4.27. Dari grafik terlihat untuk gap 1D dengan W 30.83 cm, *scouring* maksimum terjadi di belakang struktur sedangkan untuk gap 0D dengan W 37 cm *scouring* maksimum terjadi di depan struktur. Nilai maksimum *scouring* terjadi di belakang struktur dengan gap 1D. Semakin besar gap maka *scouring* di belakang struktur semakin besar, sebaliknya semakin kecil gap maka *scouring* di depan struktur semakin besar.

*Scouring* maksimum apabila dikorelasikan dengan besar kedalaman air, maka dapat dilihat seperti pada gambar 4.28. Pada bagian depan struktur, *scouring* maksimum terjadi pada nilai h 0.295 m sedangkan pada belakang struktur terjadi pada nilai h

0.29 m. Kondisi ini dipengaruhi oleh tinggi gelombang datang, periode gelombang dan panjang gelombang yang mengenai struktur.



**Gambar 4.28.** Diagram pencar data *scouring* maksimum terhadap kedalaman air (h)



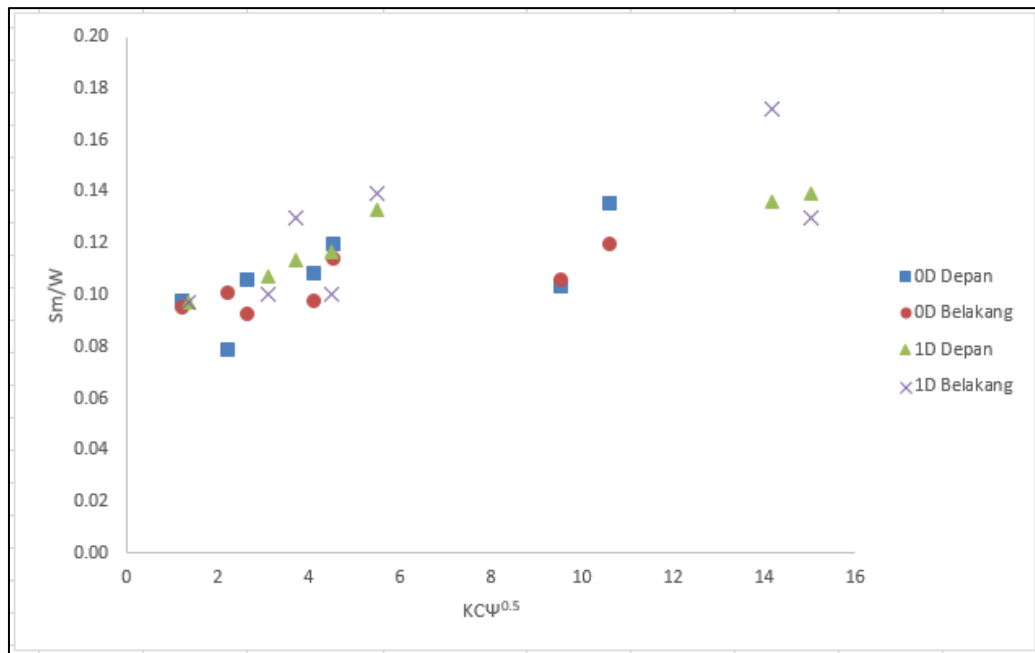
**Gambar 4.29.** Diagram pencar data *scouring* maksimum terhadap panjang gelombang (L)

Panjang gelombang mempengaruhi kedalaman *scouring* maksimum seperti pada diagram pencar diatas. Baik untuk di depan dan belakang struktur, nilai *scouring* maksimum meningkat seiring dengan kenaikan nilai panjang gelombang yang terjadi.

Untuk analisa non dimensional dapat mengacu pada penelitian Young dan Testik (2009), parameter tidak berdimensi yang digunakan dalam menganalisa karakteristik *scouring* pada struktur pemecah gelombang ambang benam (submerged breakwater) adalah Keulegan-Carpenter number,  $KC = \frac{Hi\pi}{w}$  dan

parameter mobility number dasar laut  $\Psi = \frac{\left(\frac{H_i \pi}{T \sinh(kh)}\right)^2}{g*d}$ . Dua parameter tidak berdimensi ini dapat dilihat semua parameter tidak berdimensi pada persamaan 4.3, sehingga cocok digunakan dalam analisa karakteristik *scouring*. Berdasarkan parameter tersebut maka kedalaman *scouring* maksimum merupakan fungsi kuadrat dari tinggi gelombang datang.

Parameter utama non dimensional hubungan antara kedalaman *scouring* maksimum dengan lebar efektif struktur ( $S_m/W$ ) dipengaruhi oleh variabel penyusun parameter non dimensional Keulegan-Carpenter (KC) dengan akar kuadrat dari parameter non dimensional mobility number ( $\Psi$ ), yang membentuk persamaan parameter utama non dimensional  $KC\Psi^{0.5}$ . Apabila kedua parameter



**Gambar 4.30.** Diagram pencar hasil data percobaan

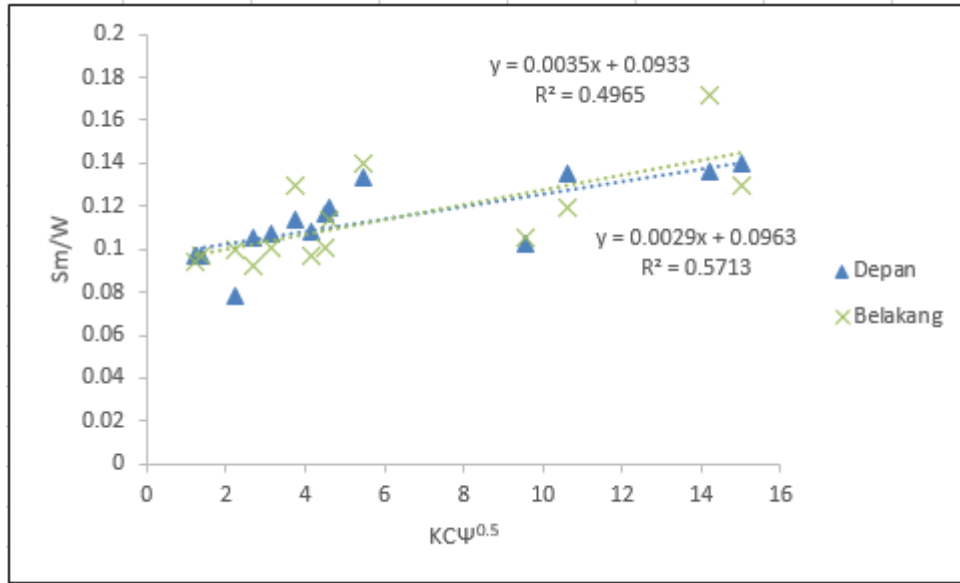
utama tersebut di plot sesuai dengan nilai data kedalaman *scouring* maksimum untuk setiap konfigurasi gap, maka diperoleh seperti pada gambar 4.30.

Dari diagram diatas dapat dijelaskan beberapa hal mengenai sebaran data kedalaman *scouring* maksimum untuk tiap variasi gap, diantaranya

1. Untuk keseluruhan pengujian yang dilakukan, nilai *scouring* maksimum terjadi pada percobaan dengan jarak gap 1D dengan lokasi di belakang struktur.
2. Nilai minimum kedalaman *scouring* untuk keseluruhan pengujian terjadi pada depan struktur dengan konfigurasi penyusunan 0D.
3. Pada pengujian *scouring* dengan jarak gap 0D, *scouring* maksimum terjadi pada depan struktur.
4. Pada pengujian *scouring* dengan jarak gap 1D, *scouring* maksimum terjadi pada belakang struktur.
5. Sebagian besar percobaan yang dilakukan memiliki nilai  $H_i$  dan  $T$  yang berada dalam satu interval, sehingga data memusat pada interval  $KC\Psi^{0.5}$  antara 0 hingga 6.
6. Nilai  $H_i$  dan  $T$  berpengaruh dalam penyebaran data hasil pengujian. Dari gambar diatas, pengujian dominan dilakukan untuk nilai  $H_i$  dan  $T$  bernilai kecil.
7. Untuk  $KC\Psi^{0.5}$  dengan interval 6 hingga 8 dan 12 hingga 13 belum dilakukan pengujian untuk mengetahui kedalaman *scouring* yang terjadi.
8. Tren penyebaran data besar kedalaman *scouring* untuk jarak gap 1D berada diatas dari penyebaran data besar kedalaman *scouring* untuk jarak gap 0D. Secara umum, *scouring* maksimum terjadi pada jarak gap 1D dan minimum pada jarak gap 0D.

Beberapa faktor mempengaruhi penyebaran data hasil pengujian kedalaman *scouring*, diantaranya ketinggian gelombang datang, periode gelombang datang, dan kedalaman perairan.

Kedalaman *scouring* maksimum untuk bagian depan dan belakang struktur dapat di dekati dengan persamaan empiris hasil analisa regresi terhadap data hasil pengukuran kedalaman *scouring* maksimum selama pengujian berlangsung. Dari persamaan empiris tersebut dapat di perkirakan kedalaman *scouring* maksimum yang terjadi baik depan struktur maupun di belakang struktur.



**Gambar 4.31.** Diagram pencar pendekatan kedalaman *scouring* maksimum untuk depan dan belakang struktur

Dari persamaan regresi linear diatas, diperoleh pendekatan untuk kedalaman *scouring* maksimum untuk bagian depan dan belakang struktur yaitu :

$$\frac{Sm}{W} = 0.0029 (KC\Psi^{0.5}) + 0.0963 \quad (4.4)$$

$$\frac{Sm}{W} = 0.0035(KC\Psi^{0.5}) + 0.0933 \quad (4.5)$$

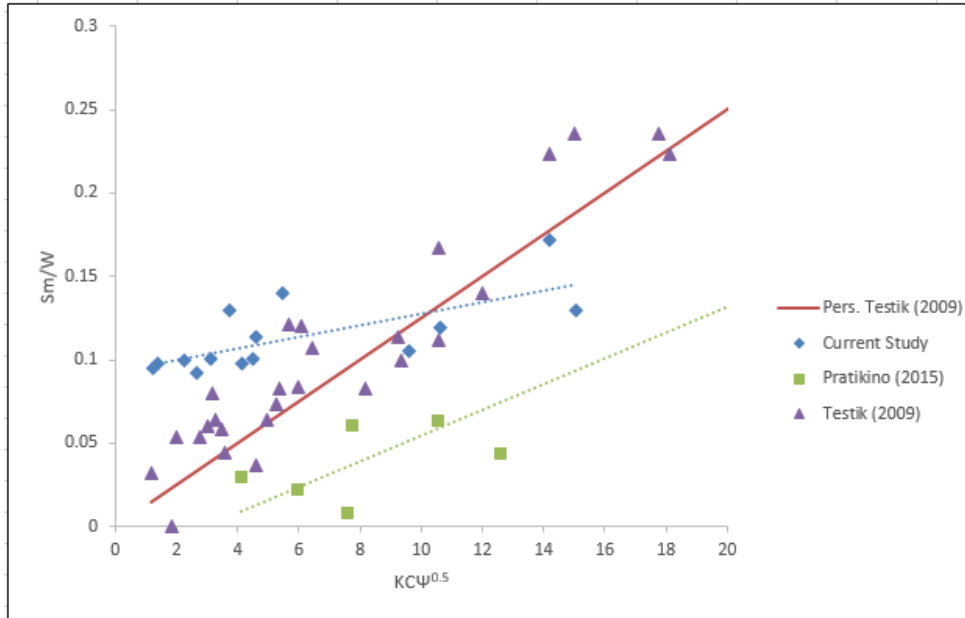
Persamaan 4.4 merupakan pendekatan kedalaman *scouring* maksimum untuk di depan struktur dan persamaan 4.5 merupakan pendekatan kedalaman *scouring* maksimum untuk di belakang struktur. Dari hasil analisa regresi diatas, persamaan 4.4 dan persamaan 4.5 memiliki koefisien regresi ( $R^2$ ) 0.5713 dan 0.4965. Hal itu menunjukkan bahwa hanya 57,13% data dan 49,65% data yang memiliki korelasi antara variabel bebas ( $KC\Psi^{0.5}$ ) terhadap variabel terikat ( $Sm/W$ ).

#### 4.6 Perbandingan Dengan Penelitian Lain

Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai *scouring* di sekitar struktur pemecah gelombang ambang benam (submerged breakwater) termasuk terumbu buatan sebagai pemecah gelombang ambang benam. Sebagai pembandingan digunakan hasil penelitian Testik (2009) dan Pratikino (2015) mengenai *scouring* di sekitar submerged breakwater. Dari hasil penelitian yang dilakukan Testik (2009)

dihasilkan persamaan empiris pendekatan kedalaman *scouring* maksimum untuk vertical dan semicircular submerged breakwater.

$$\frac{S_m}{W} = 0.0125\psi^{0.5}KC \quad (4.6)$$



**Gambar 4.32.** Hasil penelitian *scouring* Testik (2009), Pratikino (2015), dan Hexareef

Diagram pencar diatas merupakan perbandingan nilai kedalaman *scouring* maksimum pada bagian belakang struktur terhadap penelitian yang dilakukan oleh Testik (2009) dan Pratikino (2015). Penyebaran data nilai kedalaman *scouring* maksimum memiliki tren peningkatan nilai yang sama dengan penelitian-penelitian yang lain, yaitu semakin besar nilai  $H_i$ , maka semakin besar pula nilai kedalaman *scouring* yang terjadi. Nilai kedalaman *scouring* pada penelitian ini, untuk nilai  $H_i$  yang sama memiliki nilai kedalaman yang lebih besar bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Testik (2009) dan Pratikino (2015). Pada nilai  $H_i$  tertentu, nilai kedalaman *scouring* maksimum pada penelitian ini lebih kecil daripada penelitian yang dilakukan Testik (2009) namun lebih besar dari penelitian yang dilakukan Pratikino (2015). Faktor geometri struktur, kedalaman perairan area uji, dan diameter butiran juga mempengaruhi kedalaman *scouring* maksimum yang terjadi. Faktor geometri berpengaruh terhadap laju arah aliran arus yang terbentuk disekitar struktur yang dapat menyebabkan *scouring*.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian mengenai karakteristik *scouring* di sekitar *artificial reef* bentuk heksagonal, kesimpulan yang dapat ditarik adalah :

- 1.a. Kedalaman *scouring* maksimum yang terjadi pada terumbu buatan bentuk heksagonal terbesar 5.3 cm dan terkecil 2.9 cm. Perubahan ketinggian muka pasir terbesar terjadi pada percobaan ke 4 (H 17.3 T 4), percobaan ke 8 (H 18.2 T 4), percobaan ke 11 (H 11.2 T 2.2), dan percobaan ke 14 (H 10.7 T 2). *Scouring* maksimum terbesar terjadi pada pengujian dengan menggunakan gelombang regular.
- b. Pengaruh jarak gap penempatan struktur terhadap karakteristik *scouring* yaitu semakin kecil gap, maka semakin besar *scouring* yang terjadi di depan struktur, sedangkan semakin besar gap, maka semakin besar pula *scouring* yang terjadi di bagian belakang struktur.
- 2.a. Parameter tak berdimensi kedalaman *scouring* maksimum ( $S_m/W$ ) dilakukan terhadap perkalian akar parameter *mobility number* dengan *Keulegan-Carpenter number* ( $KC\Psi^{0.5}$ ). Dari korelasi tersebut diketahui nilai *scouring* maksimum terjadi pada pengujian dengan jarak gap 1D dan nilai minimum pada pengujian dengan jarak gap 0D.
- b. Diperoleh persamaan empiris untuk pendekatan kedalaman *scouring* maksimum untuk depan struktur yaitu  $\frac{S_m}{W} = 0.0029(KC\Psi^{0.5}) + 0.0963$  dan belakang struktur yaitu  $\frac{S_m}{W} = 0.0035(KC\Psi^{0.5}) + 0.0933$ . Diperoleh nilai  $R^2$  untuk kedua persamaan tersebut adalah 0.5713 dan 0.4965.
- c. Dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Testik (2009) dan Pratikino (2015), nilai kedalaman *scouring* pada penelitian ini memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan penelitian yang lain. Pada nilai  $H_i$

tertentu, kedalaman *scouring* maksimum lebih kecil dari penelitian yang lain. Faktor geometri struktur, kedalaman air lokasi uji, diameter butiran sedimen juga mempengaruhi besar nilai kedalaman *scouring*.

## **5.2 Saran**

Dari penelitian yang dilakukan, saran penulis untuk penelitian selanjutnya yang serupa adalah :

1. Melakukan penelitian karakteristik *scouring* dengan variasi periode, tinggi gelombang, dan kedalaman perairan yang lebih tinggi atau lebih rendah dari yang telah dilakukan dalam penelitian ini.
2. Melakukan penelitian pengaruh ketinggian struktur dan jarak peletakan yang berbeda dari penelitian ini terhadap karakteristik *scouring* yang terjadi.
3. Melakukan penelitian karakteristik *scouring* dengan menggunakan permodelan *software*.

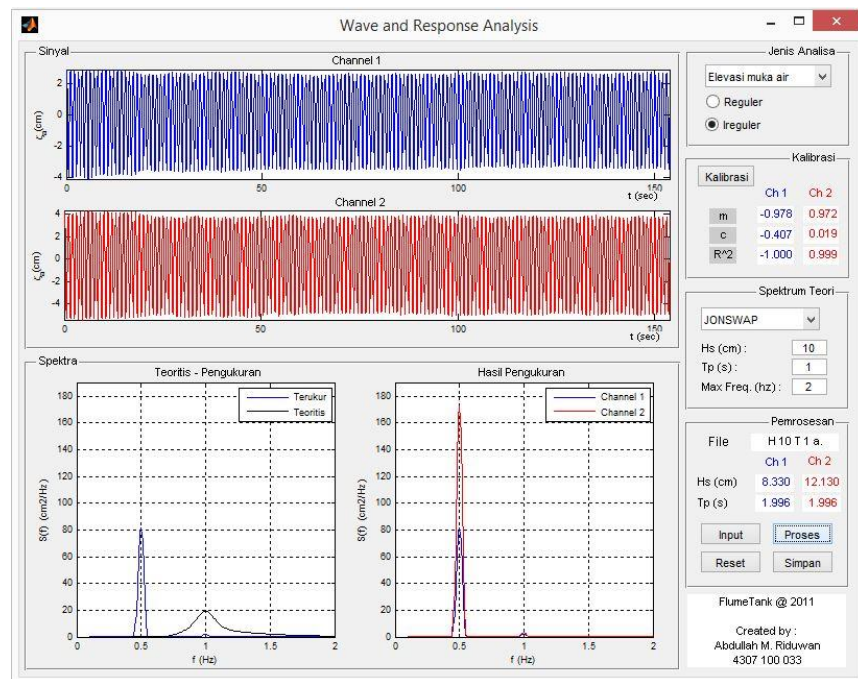
## DAFTAR PUSTAKA

- Armono, Haryo Dwito. 2004. *Artificial Reef as Shoreline Protection Structures*. Paper Seminar Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan IV. Surabaya.
- Bhattacharya, Rameswar. 1972. *Dynamic of Marine Vehicles*. Maryland: A Wiley Series.
- Brink, Ferdinand Van Den. 2014. *Influence Of Liquefaction On Scour Around Offshore Monopile Foundations*. Msc Thesis, University of Twente and Delft University of Technology. Netherlands.
- Carstensen, Stefan dan B. M. Sumer. 2015. *Scour at Breakwaters Under Combined Waves and Current*. E-proceedings of the 36<sup>th</sup> IAHR World Congress The Hague. Netherlands.
- Darwis, Wahyuddin. 2014. *Studi Refleksi Gelombang pada Peredam Gelombang Sisi Miring Berpori Secara Eksperimental*. Tugas Akhir Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Fredsoe, Jorgen dan Mutlu B. Sumer. 2002. *The Mechanics of Scour in the Marine Environment*. World Scientific: USA.
- Hales, Lyndall Z. 1980. *Erosion Control of Scour During Construction; Report 2, Literature Survey of Theoretical, Experimental and Prototype Investigations*. Technical Report HL-80-3. US Army Waterways Experiment Station. Vicksburg US.
- Harinaldi. 2005. *Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains*. Erlangga: Jakarta.
- Hughes, Steven A. 2001. *Scour and Scour Protection*. CDCM Training Workshop Chapter 8. Trinidad.
- Munson, Bruce R. et al. 2004. *Mekanika Fluida : Edisi Keempat Jilid 1*. Erlangga: Jakarta.

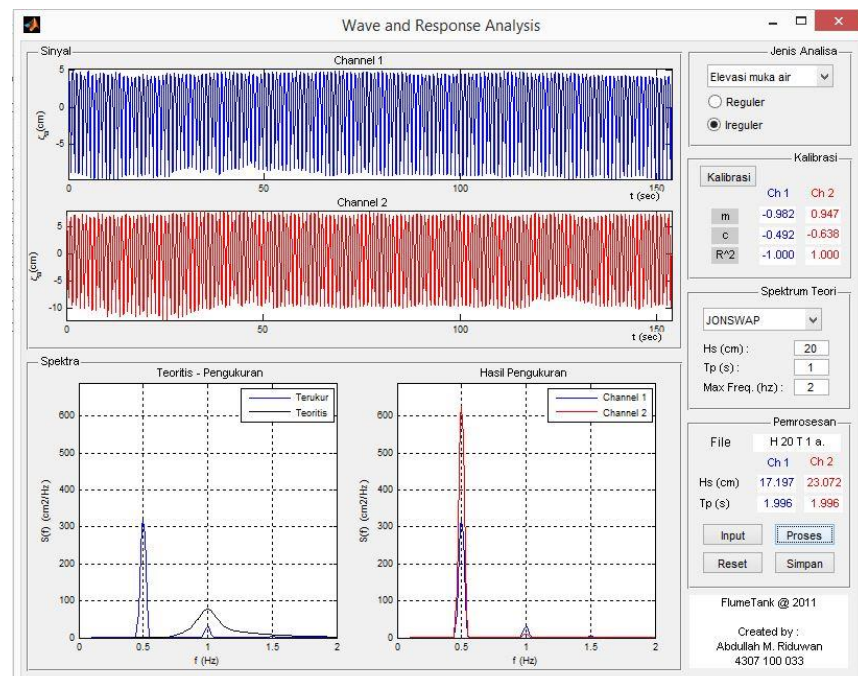
- Pratikino, Asrin Ginong. 2015. *Karakteristik Scour di Sekitar Artificial Reef Bentuk Silinder Berongga*. Thesis ITS. Surabaya.
- Sucipto. 2011. *Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan Dengan Perlindungan Groundsill*. Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan No. 1 Vol. 13 Januari 2011 halaman 51 – 60.
- Sumer dkk. 2005. *Local Scour at Roundhead and Along the Trunk of Low Crested Structures*. International Coastal Engineering Journal Elsevier. <http://www.elsevier.com/locate/coastaleng>. (Diakses pada tanggal 21 Juni 2016).
- Testik, Firat Y. dan D. Morgan Young. 2009. *Onshore Scour Characteristic Around Submerged Vertical and Semicircular Breakwaters*. Coastal Engineering Journal Elsevier. <http://www.elsevier.com/locate/coastaleng>. (Diakses pada tanggal 23 Juni 2016).
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset: Yogyakarta.
- Whitehouse, Richard. 1998. *Scour At Marine Structures : A Manual for Practical Applications*. Thomas Telford. UK.
- [http://www.coastalwiki.org/wiki/Artificial\\_reefs](http://www.coastalwiki.org/wiki/Artificial_reefs) diakses tanggal 16 Juli 2016.

# LAMPIRAN A

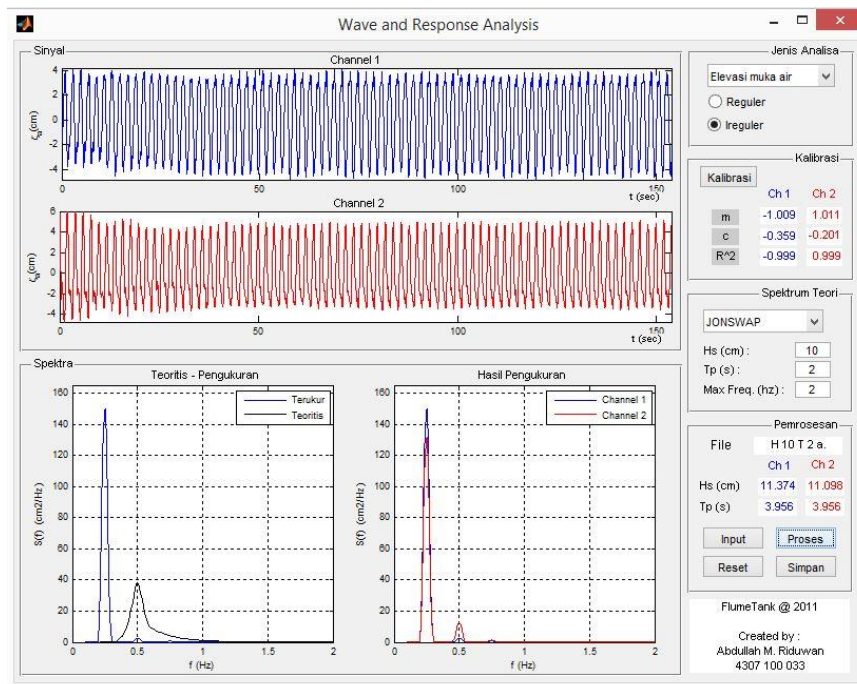
## PROSES OLAH DATA GELOMBANG DENGAN WARELAB



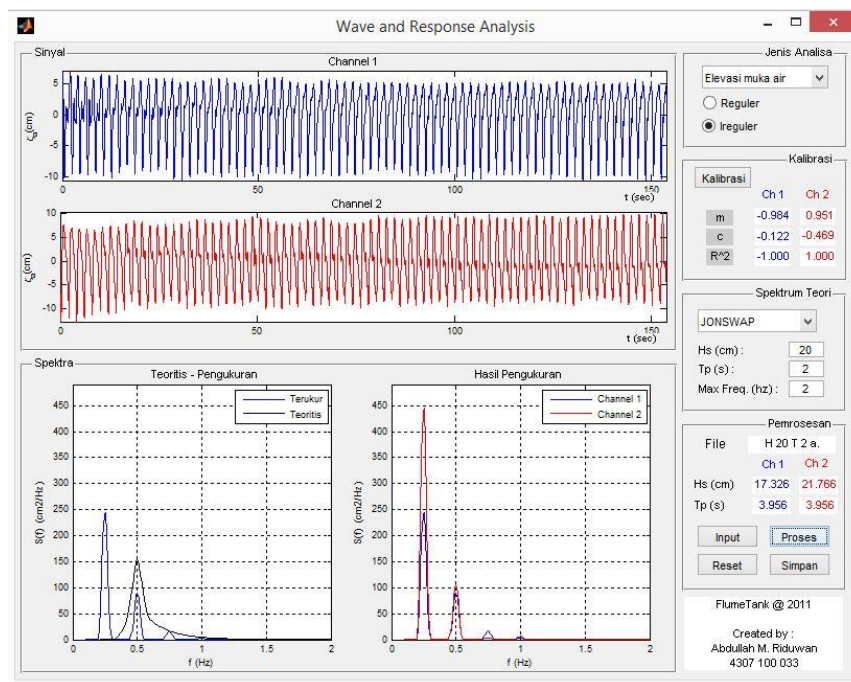
Gambar 1. Pengolahan data gelombang reguler percobaan ke 1



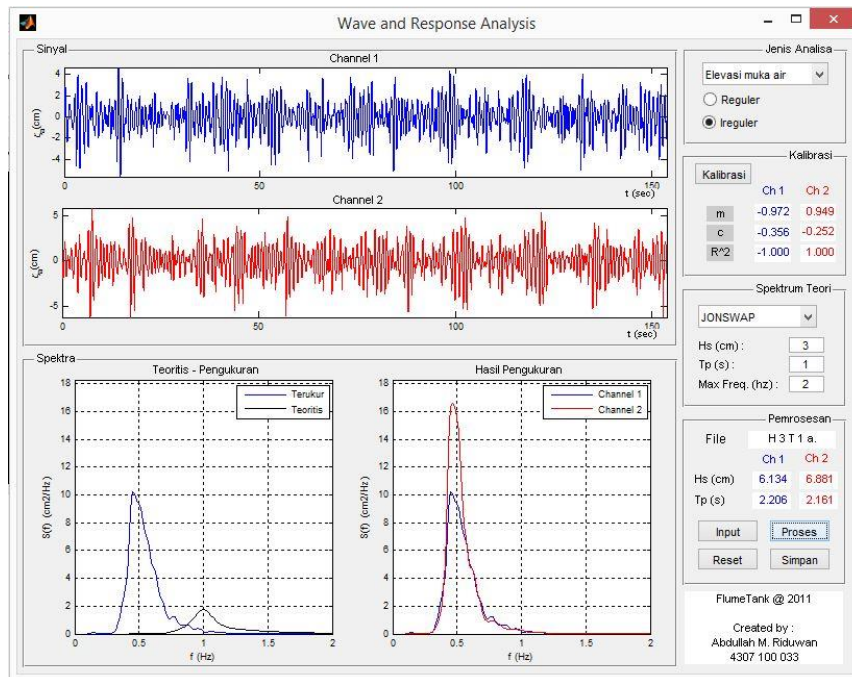
Gambar 2. Pengolahan data gelombang reguler percobaan ke 2



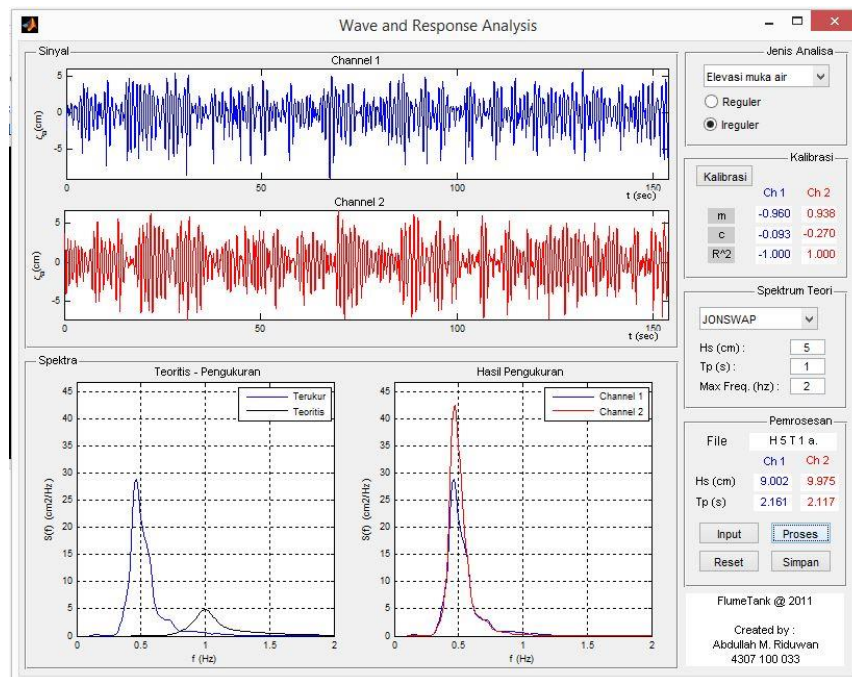
Gambar 3. Pengolahan data gelombang reguler percobaan ke 3



Gambar 4. Pengolahan data gelombang reguler percobaan ke 4

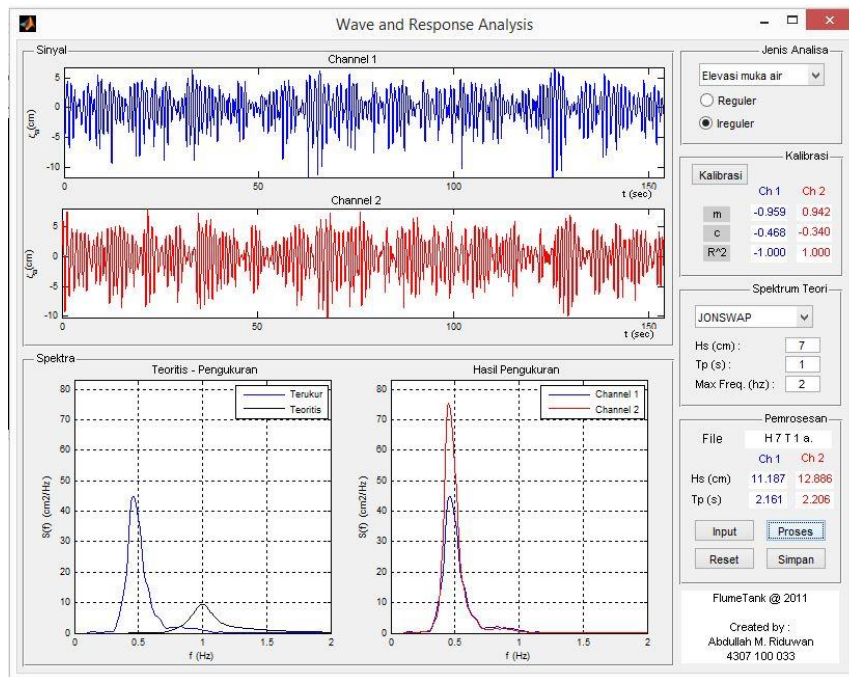


Gambar 5. Pengolahan data gelombang ireguler percobaan ke 9



Gambar 6. Pengolahan data gelombang ireguler percobaan ke 10





Gambar 7. Pengolahan data gelombang ireguler percobaan ke 11

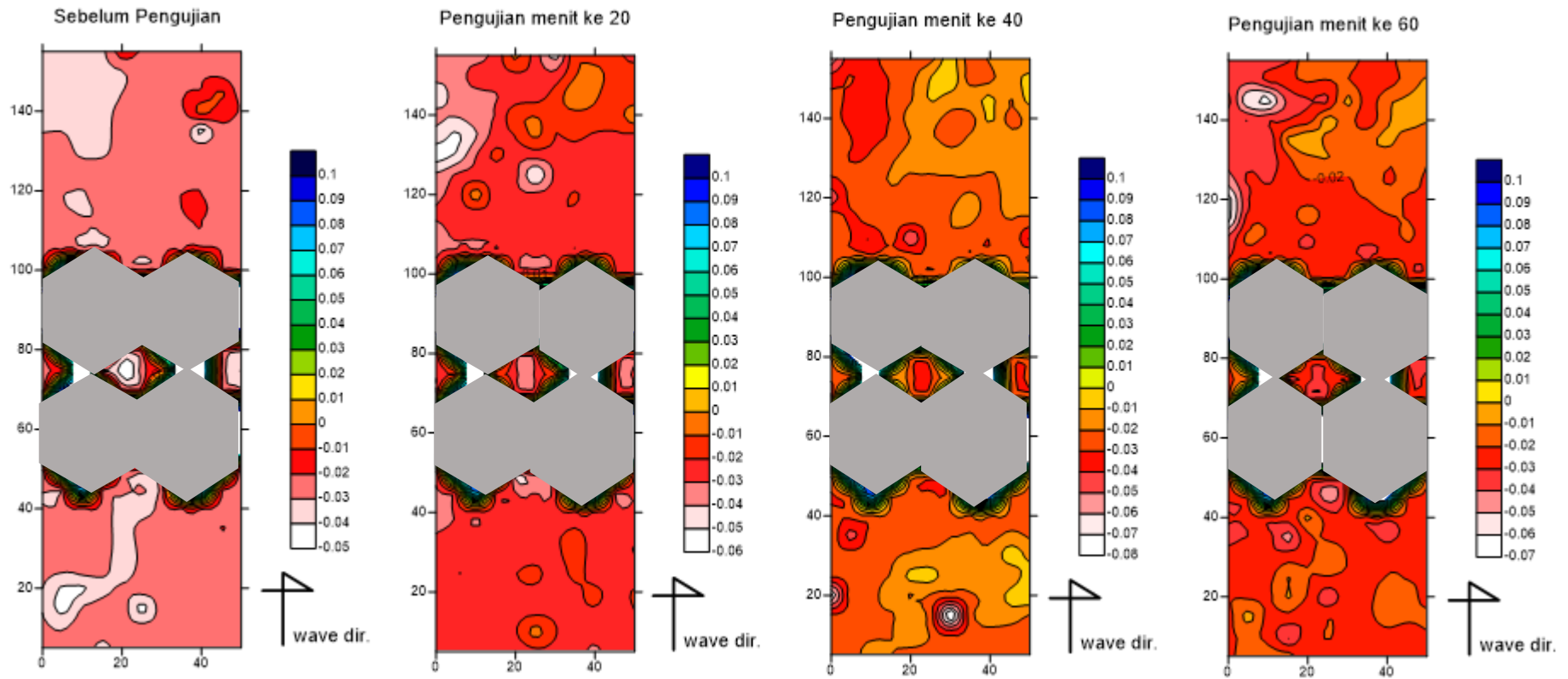
Tabel 1. Hasil pengolahan dari WareLab

percobaan ke -	Jenis Gelombang	Ch 1		Ch2	
		Hm (cm)	T (detik)	Hm (cm)	T (detik)
1	Reguler	8.33	1.996	12.13	1.996
2		17.197	1.996	23.072	1.996
3		11.374	3.956	11.098	3.956
4		17.326	3.956	21.766	3.956
5		9.686	1.996	12.73	1.996
6		19.467	1.996	23.463	1.996
7		11.309	3.956	10.501	3.956
8		18.18	3.956	21.712	3.956
9	Ireguler (JONSWAP)	6.134	2.206	6.881	2.161
10		9.002	2.161	9.975	2.117
11		11.187	2.161	12.886	2.206
12		5.980	1.855	6.868	2.161
13		8.860	2.117	10.392	2.161
14		10.703	2.035	12.469	2.075

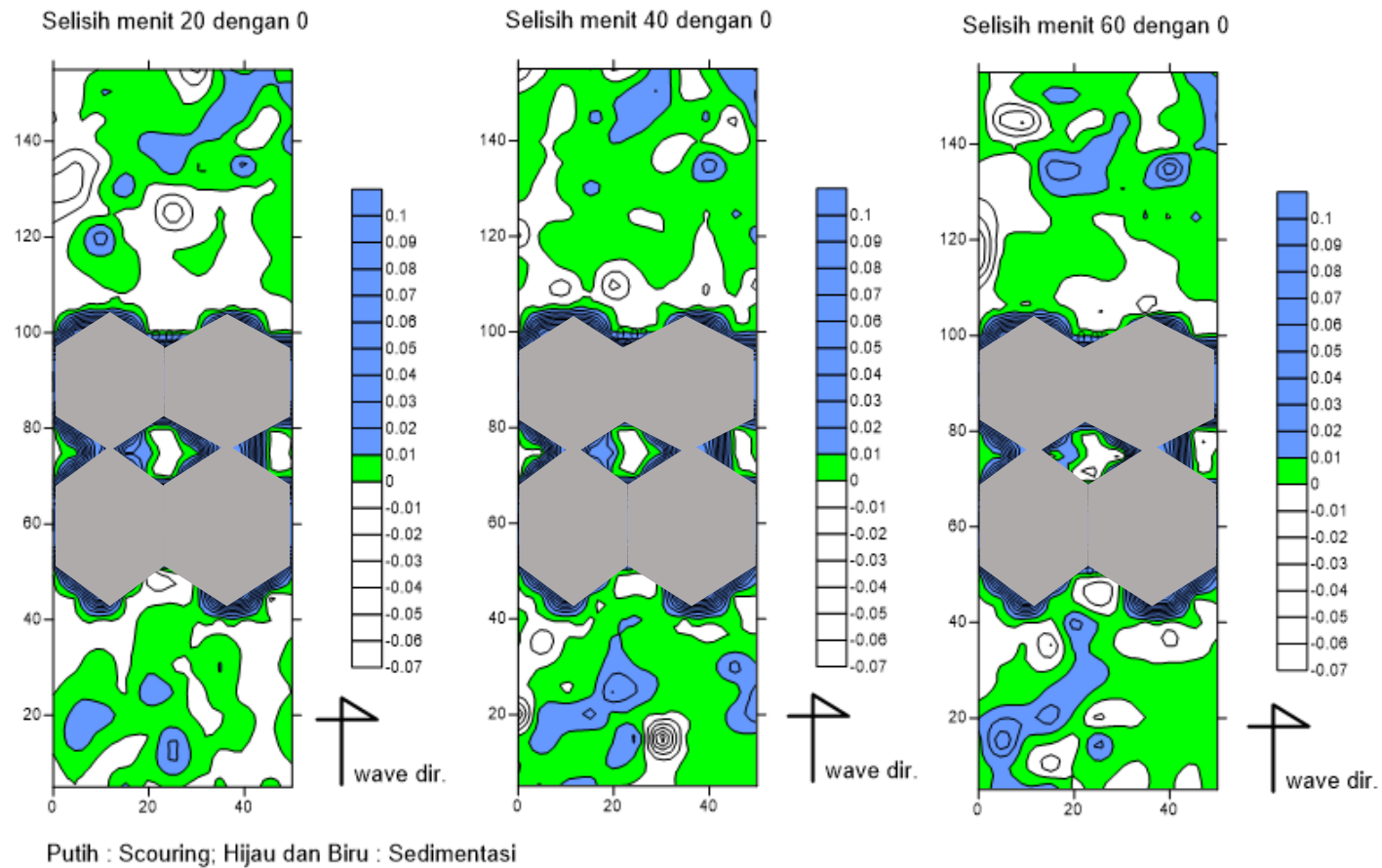


## LAMPIRAN B

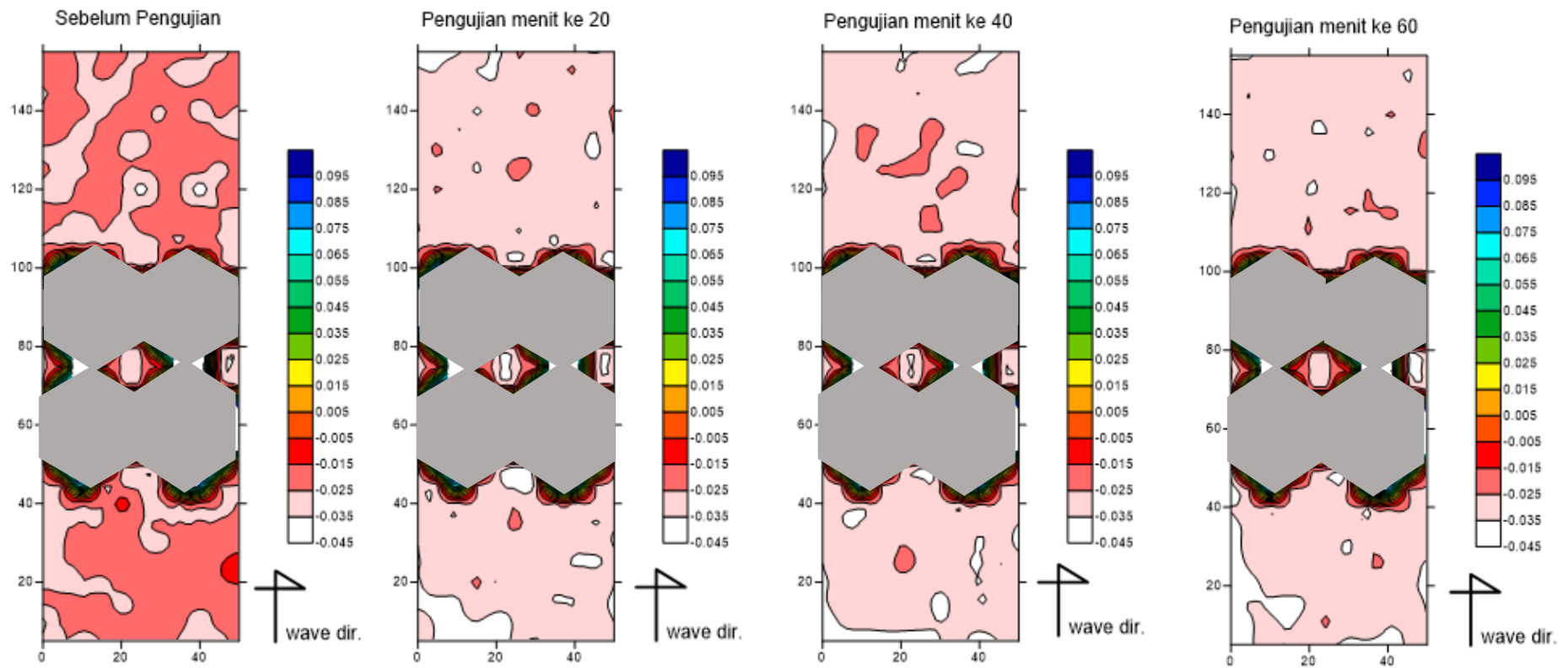
### HASIL PLOT KONTUR UNTUK SETIAP PENGUJIAN



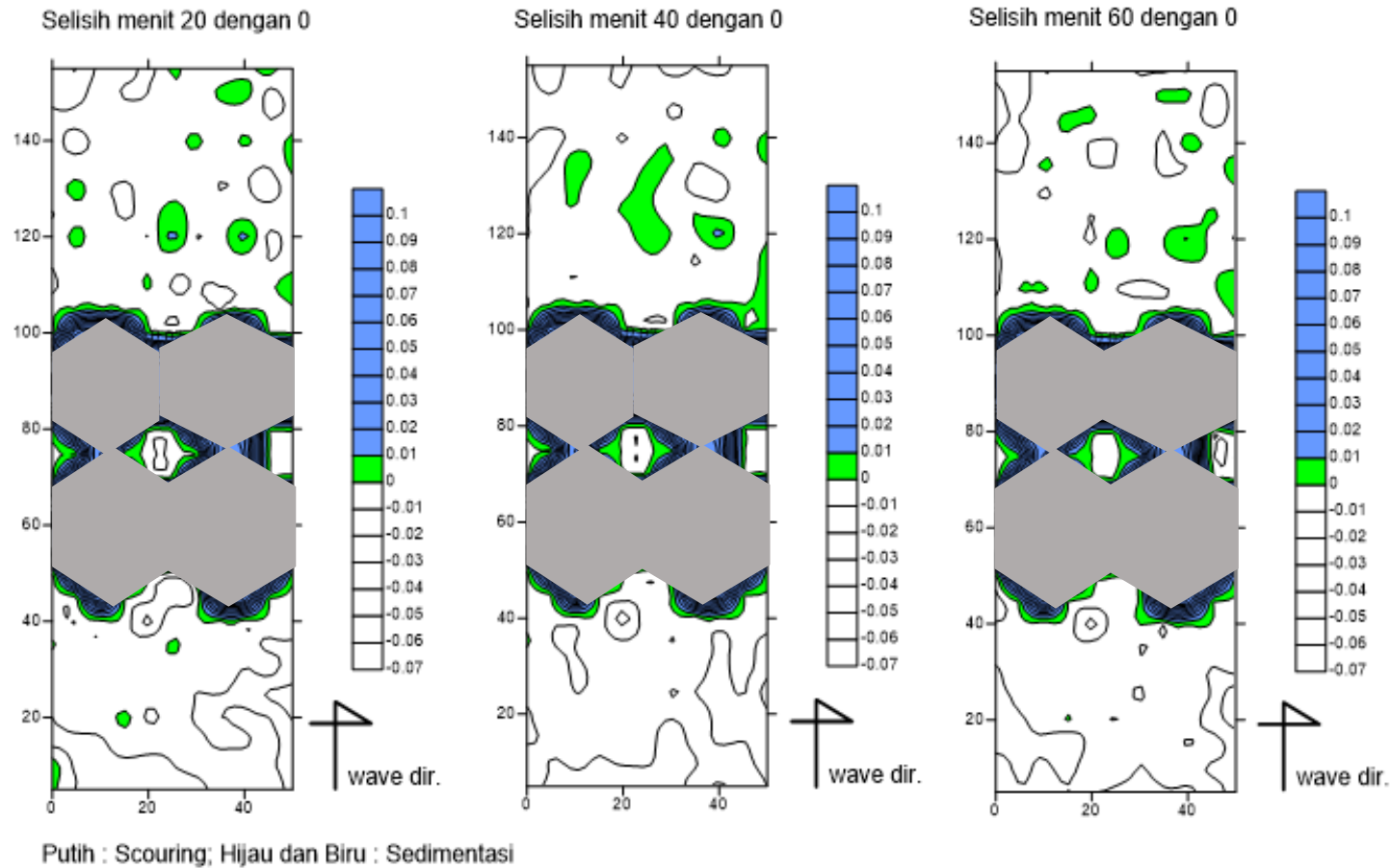
Gambar 1. Pengujian ke 1 dengan gelombang reguler dengan gap 0D (H 8.3 cm T 2 detik)



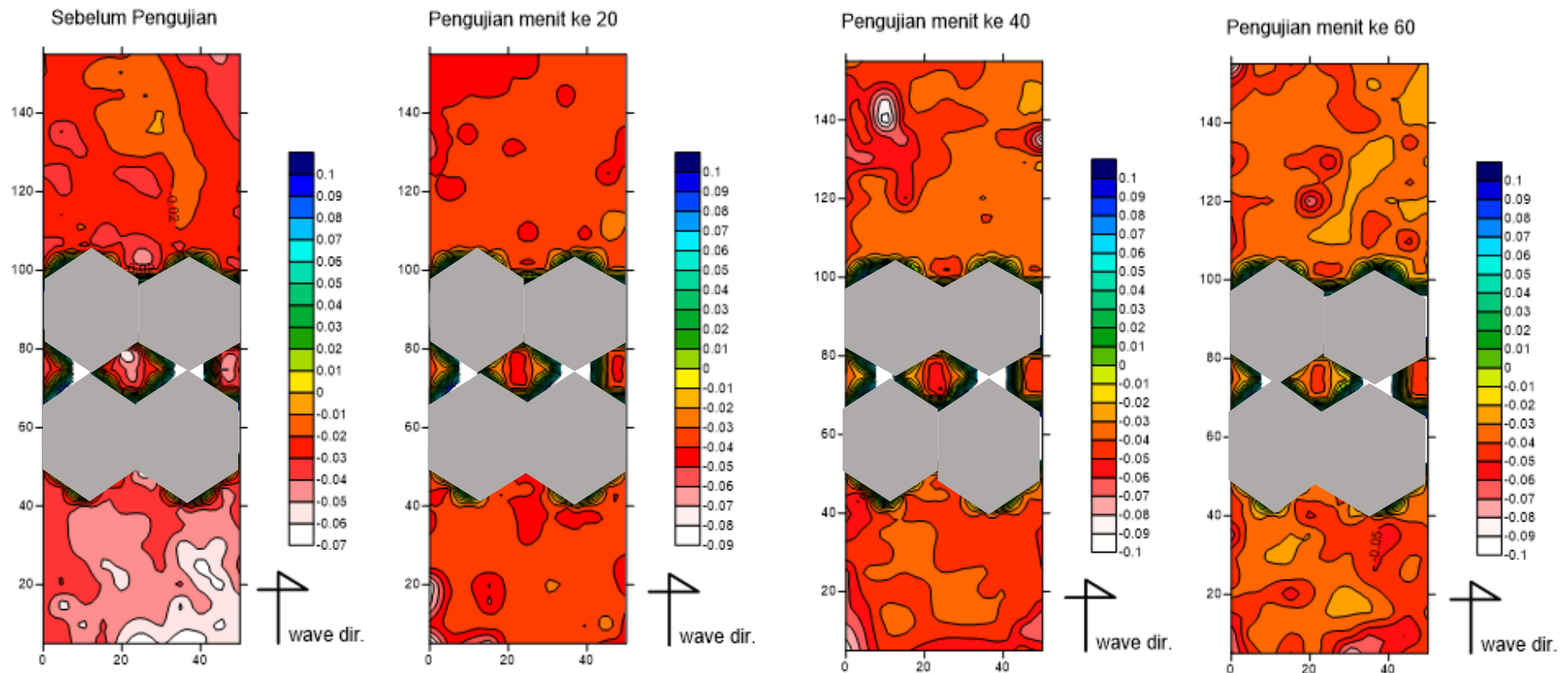
Gambar 2. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 1 gelombang reguler dengan gap 0D (H 8.3 cm T 2 detik)



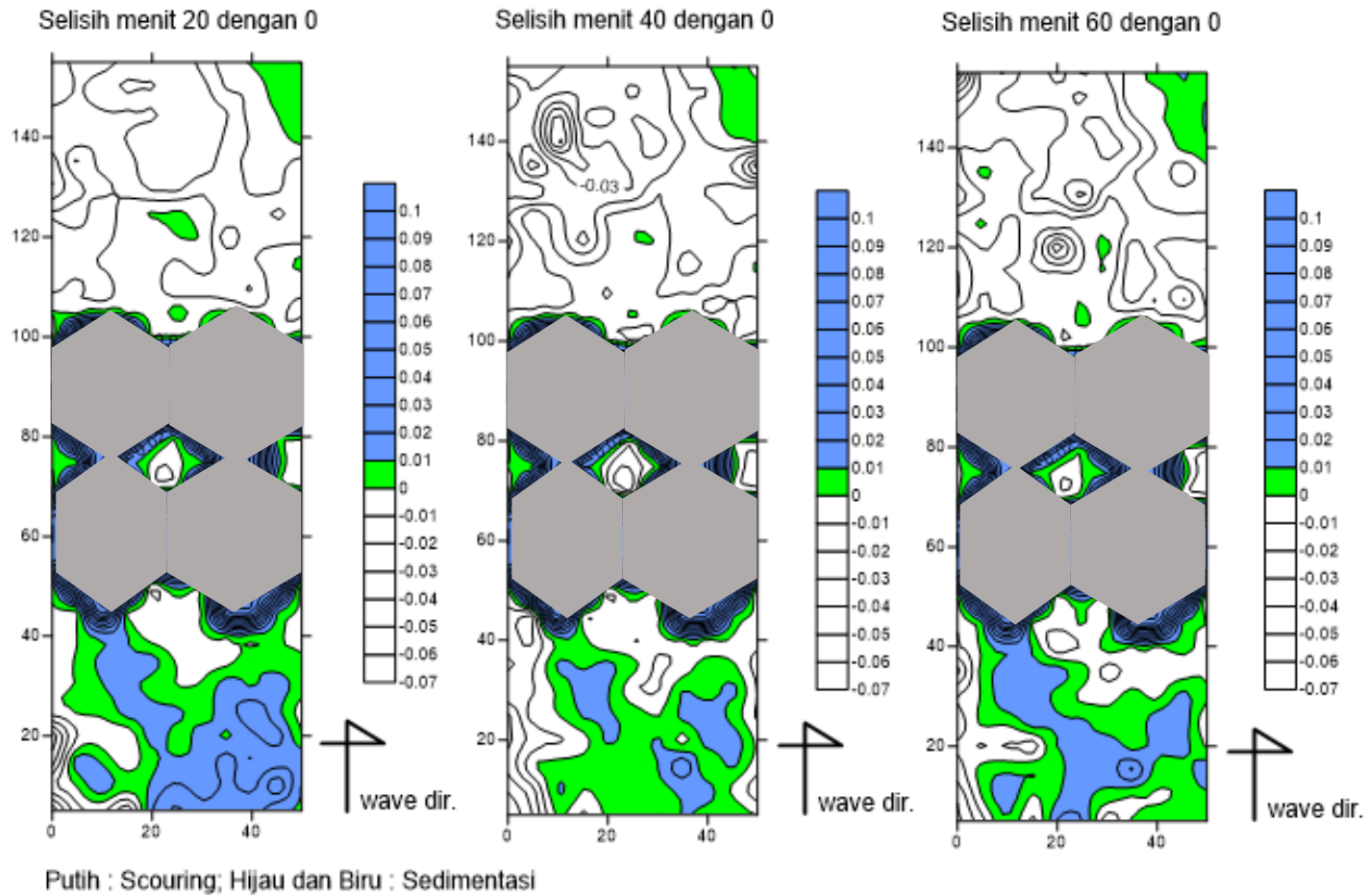
Gambar 3. Pengujian ke 2 dengan gelombang reguler dengan gap 0D (H 17.2 cm T 2 detik)



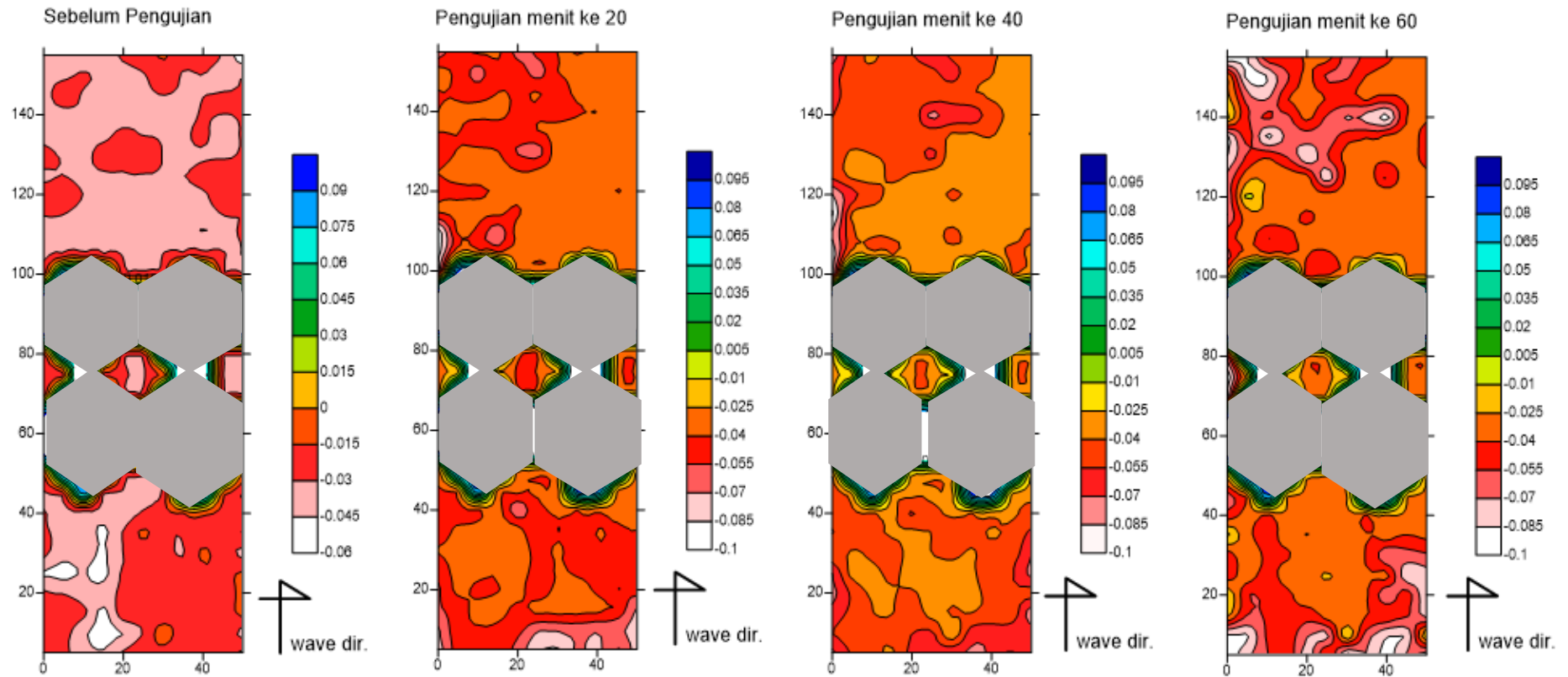
Gambar 4. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 2 gelombang reguler dengan gap 0D (H 17.2 cm T 2 detik)



Gambar 5. Pengujian ke 3 dengan gelombang reguler dengan gap 0D (H 11.4 cm T 4 detik)

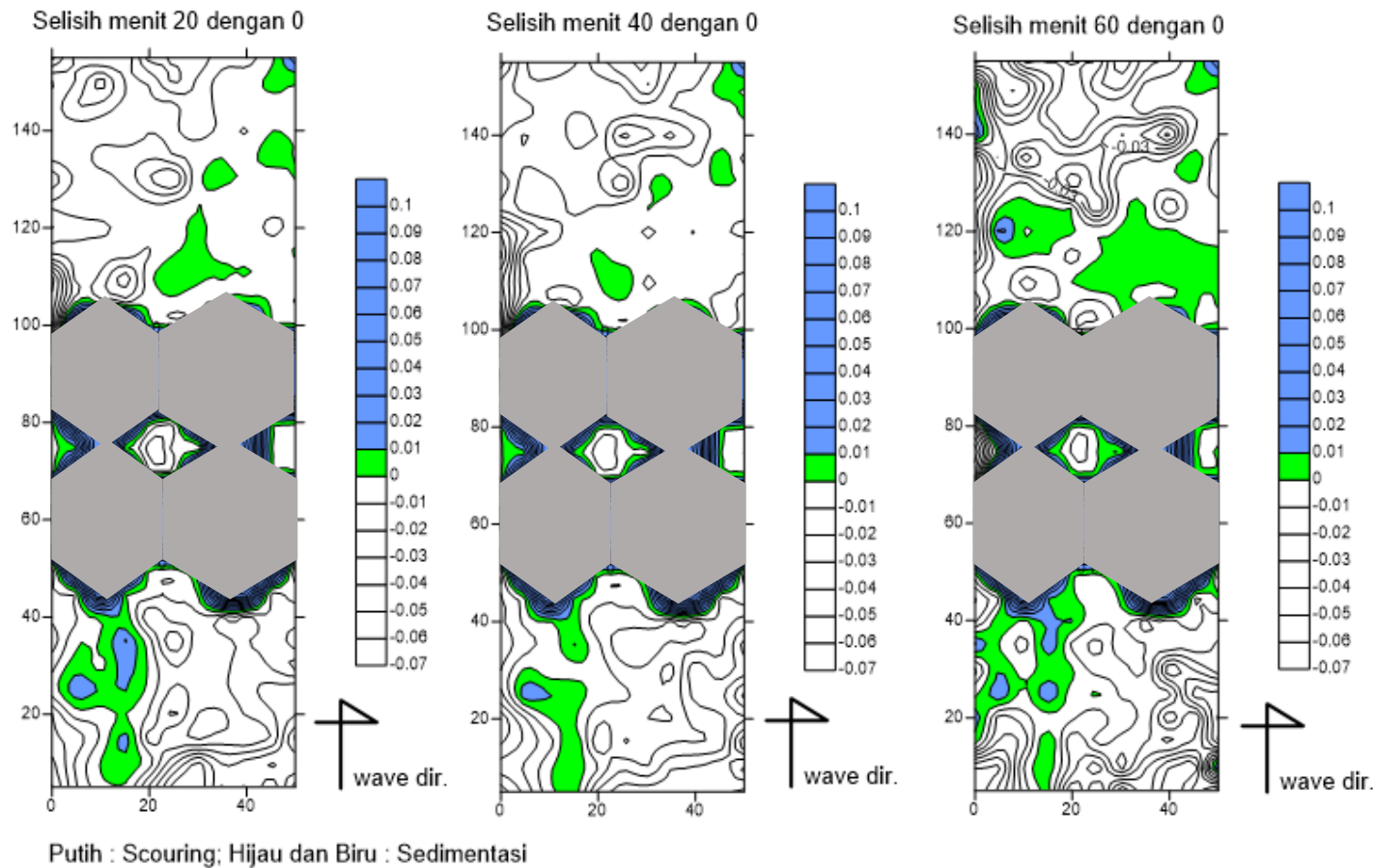


Gambar 6. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 3 gelombang reguler dengan gap 0D (H 11.4 cm T 4 detik)



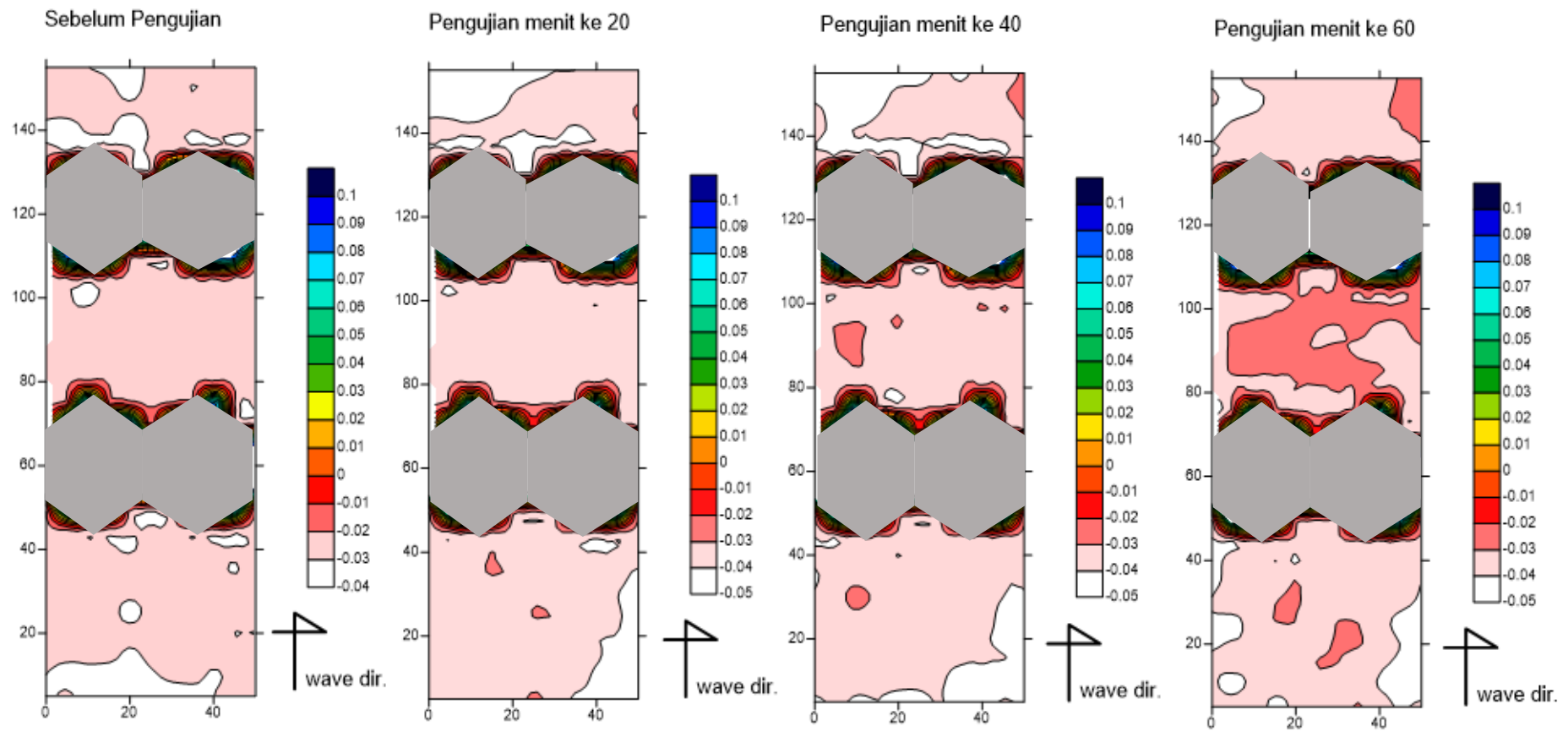
Gambar 7. Pengujian ke 4 dengan gelombang reguler dengan gap 0D (H 17.3 cm T 4 detik)



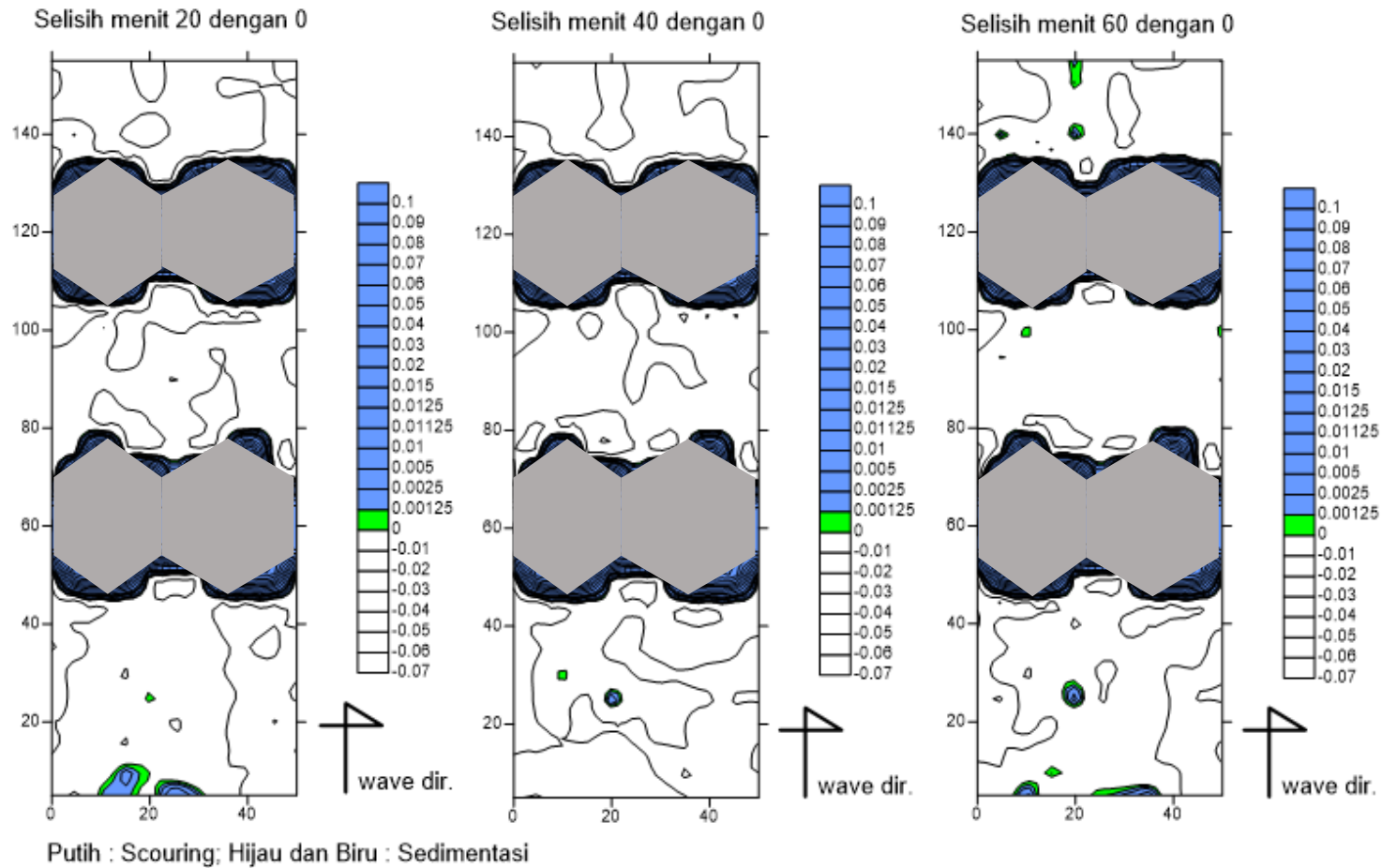


Gambar 8. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 4 gelombang reguler dengan gap 0D (H 17.3 cm T 4 detik)

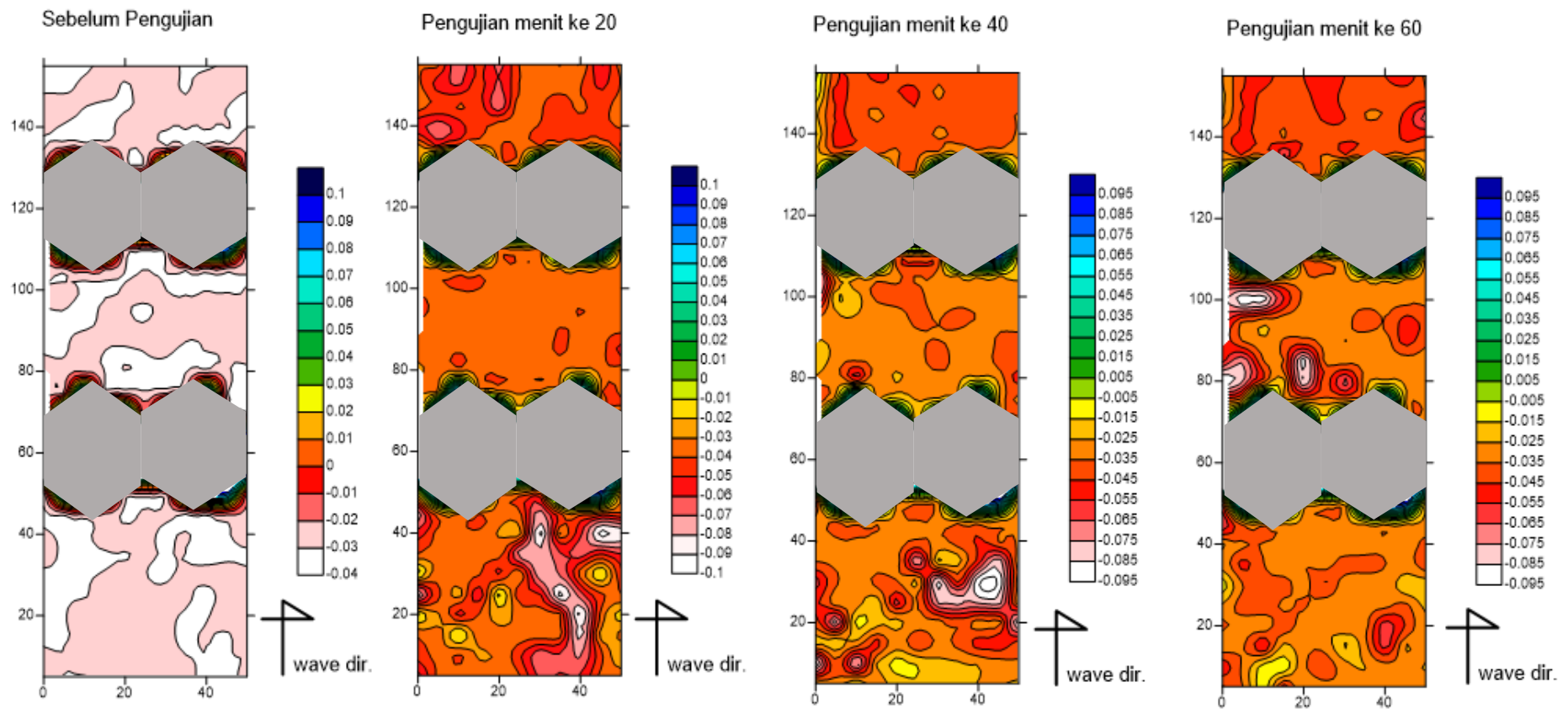




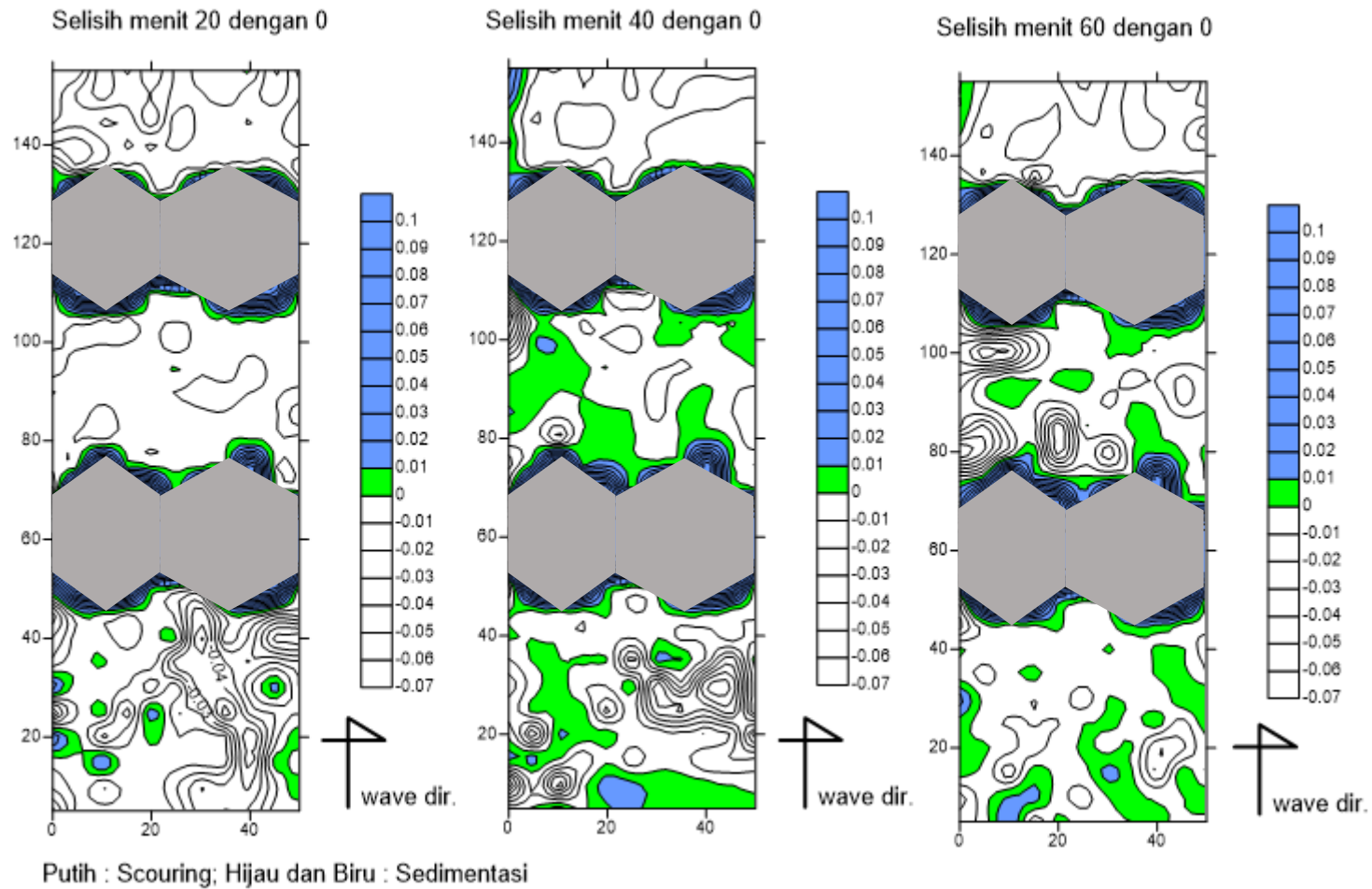
Gambar 9. Pengujian ke 5 dengan gelombang reguler dengan gap 1D (H 9.7 cm T 2 detik)



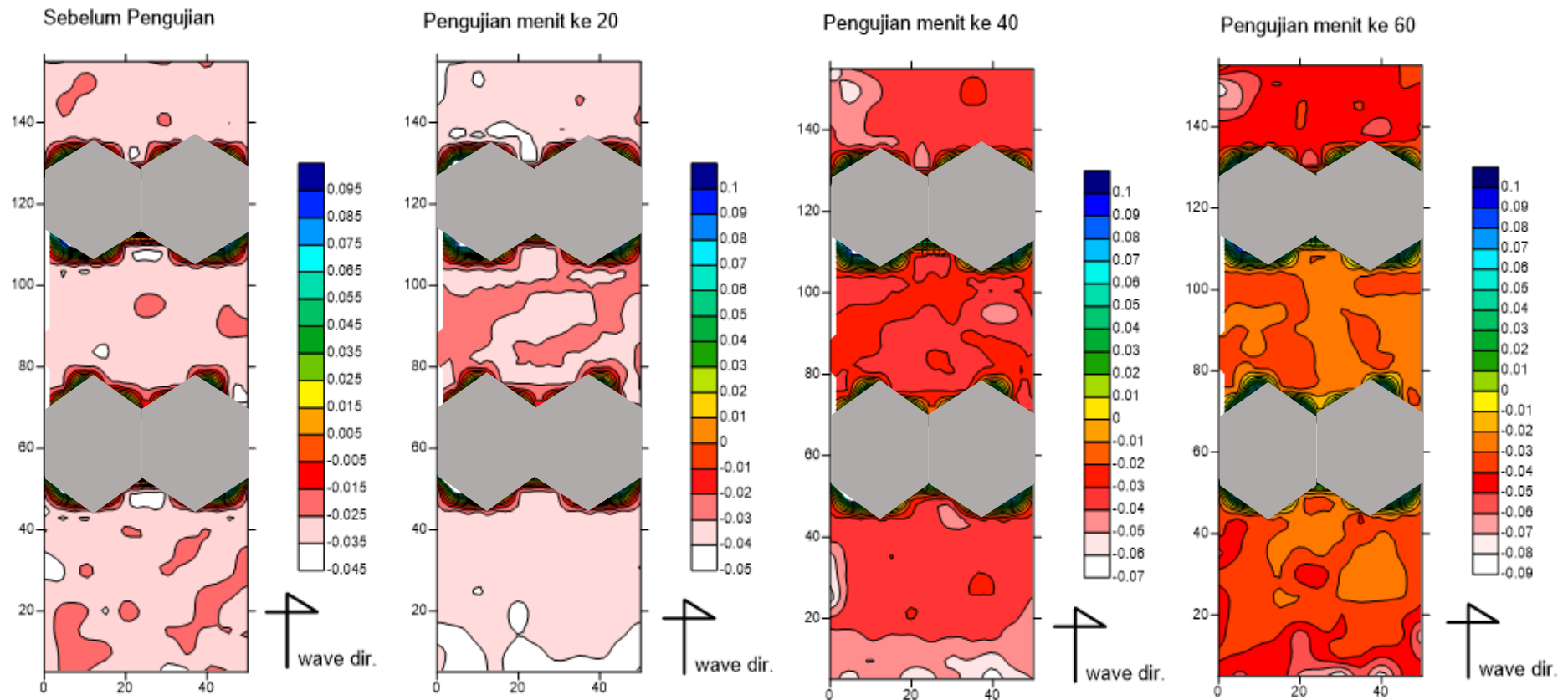
Gambar 10. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 5 gelombang reguler dengan gap 1D (H 9.7 cm T 2 detik)



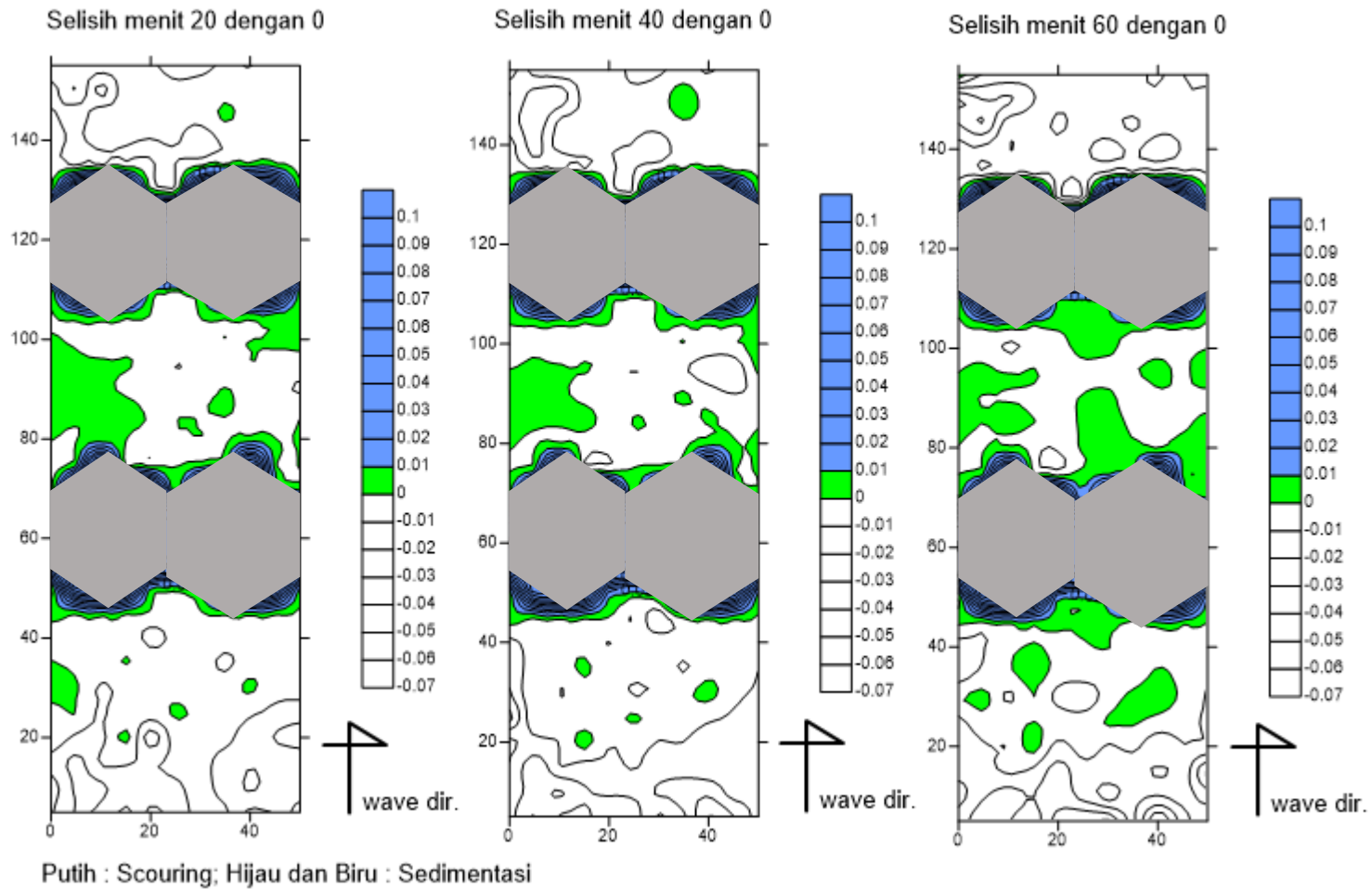
Gambar 11. Pengujian ke 6 dengan gelombang reguler dengan gap 1D (H 19.5 cm T 2 detik)



Gambar 12. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 6 gelombang reguler dengan gap 1D (H 19.5 cm T 2 detik)

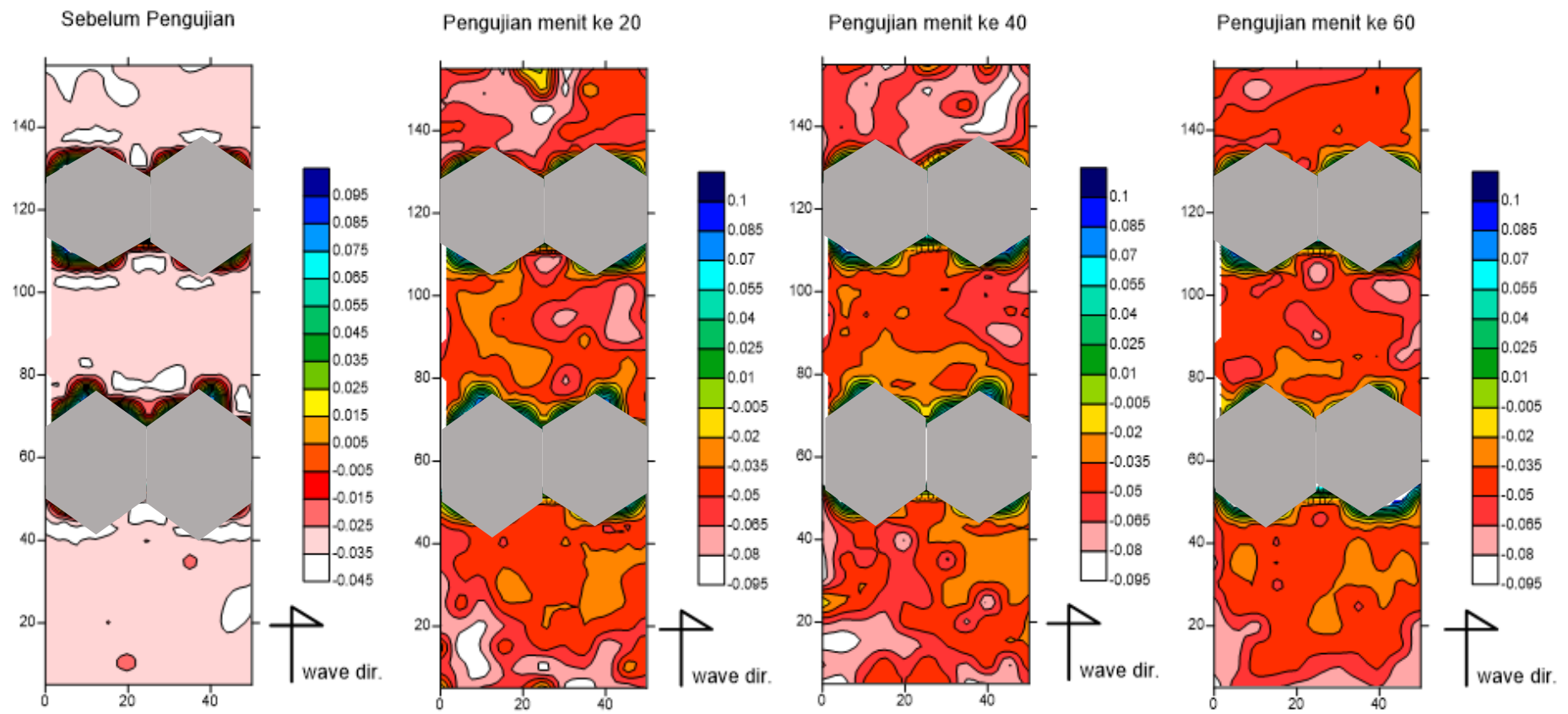


Gambar 13. Pengujian ke 7 dengan gelombang reguler dengan gap 1D (H 11.3 cm T 4 detik)

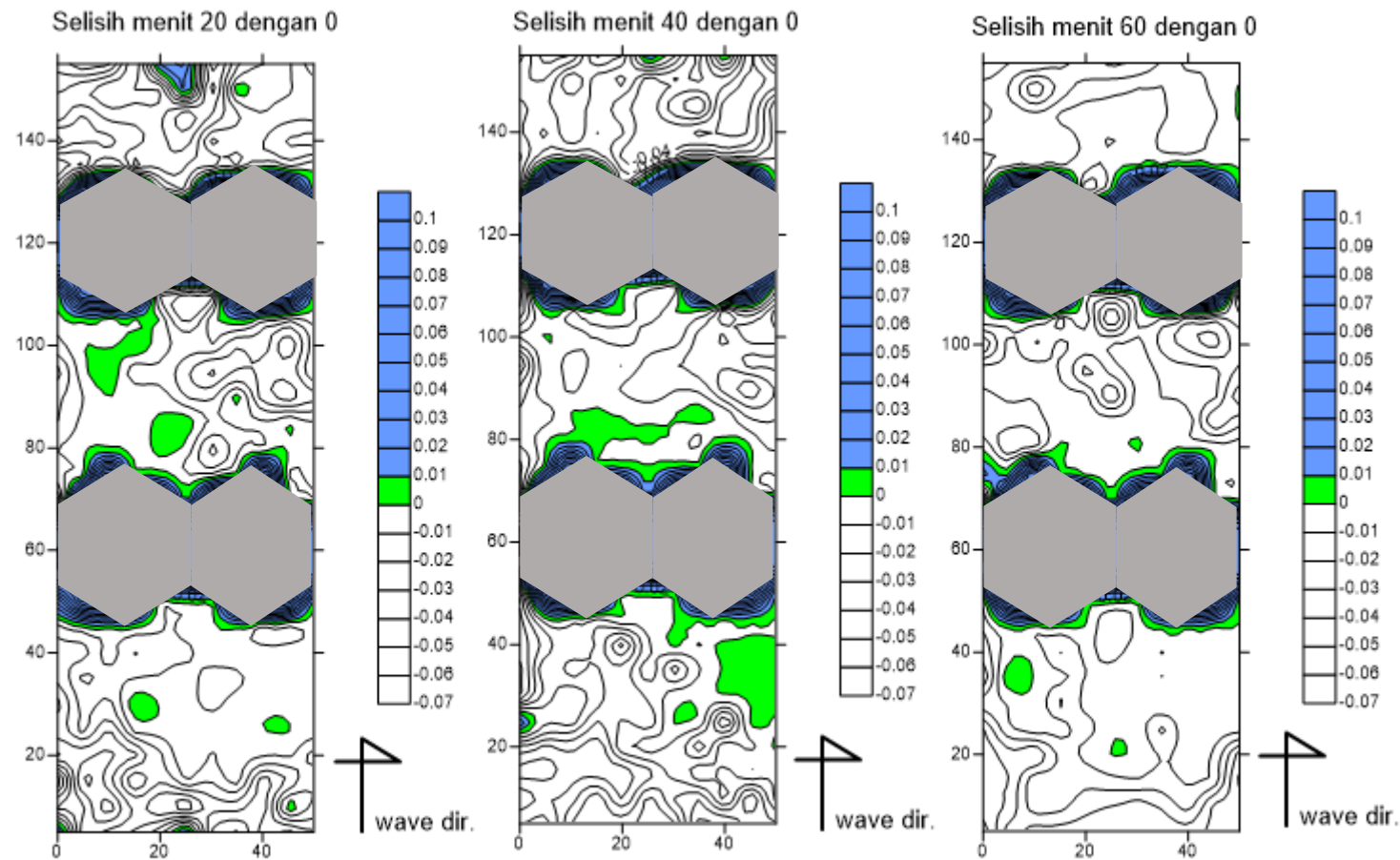


Gambar 14. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 7 gelombang reguler dengan gap 1D (H 11.3 cm T 4 detik)





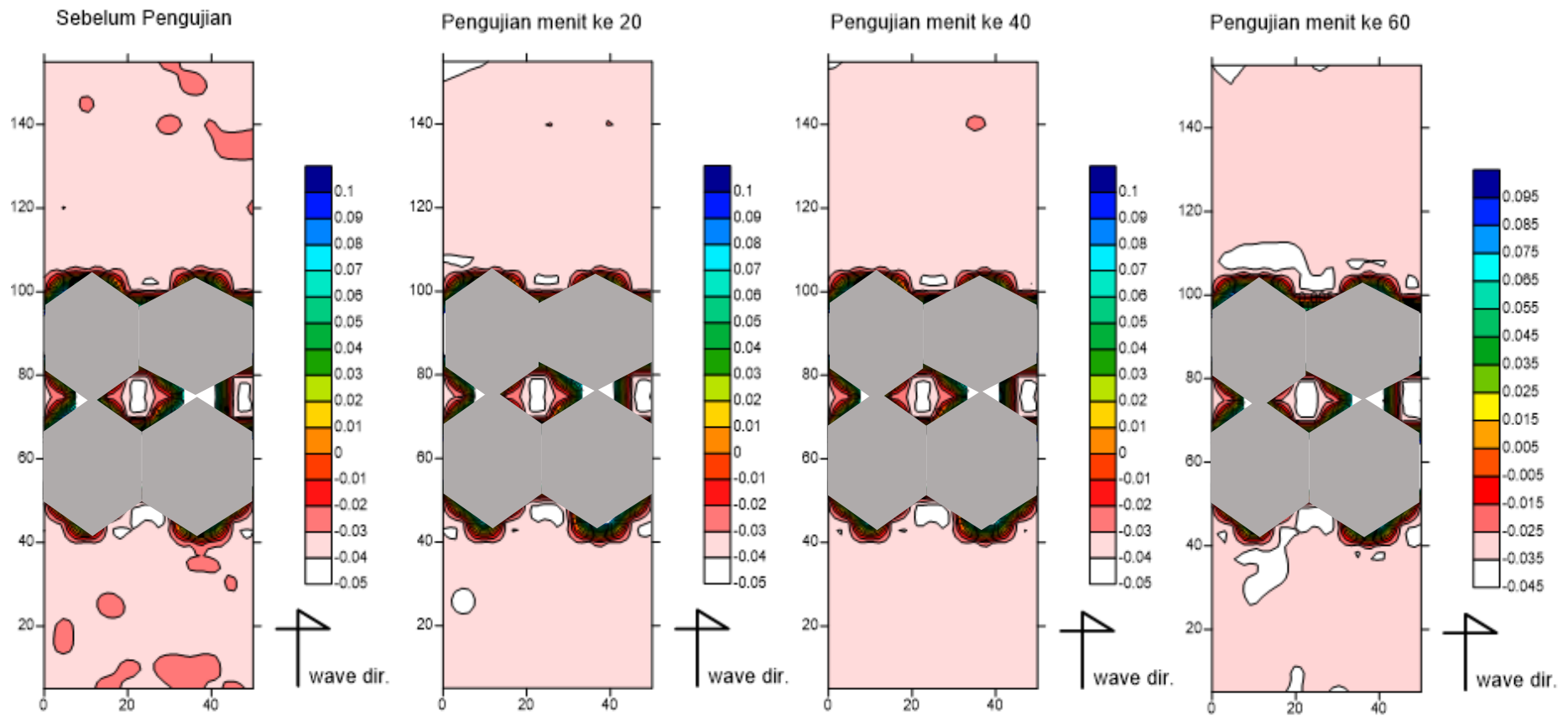
Gambar 15. Pengujian ke 8 dengan gelombang reguler dengan gap 1D (H 18.2 cm T 4 detik)



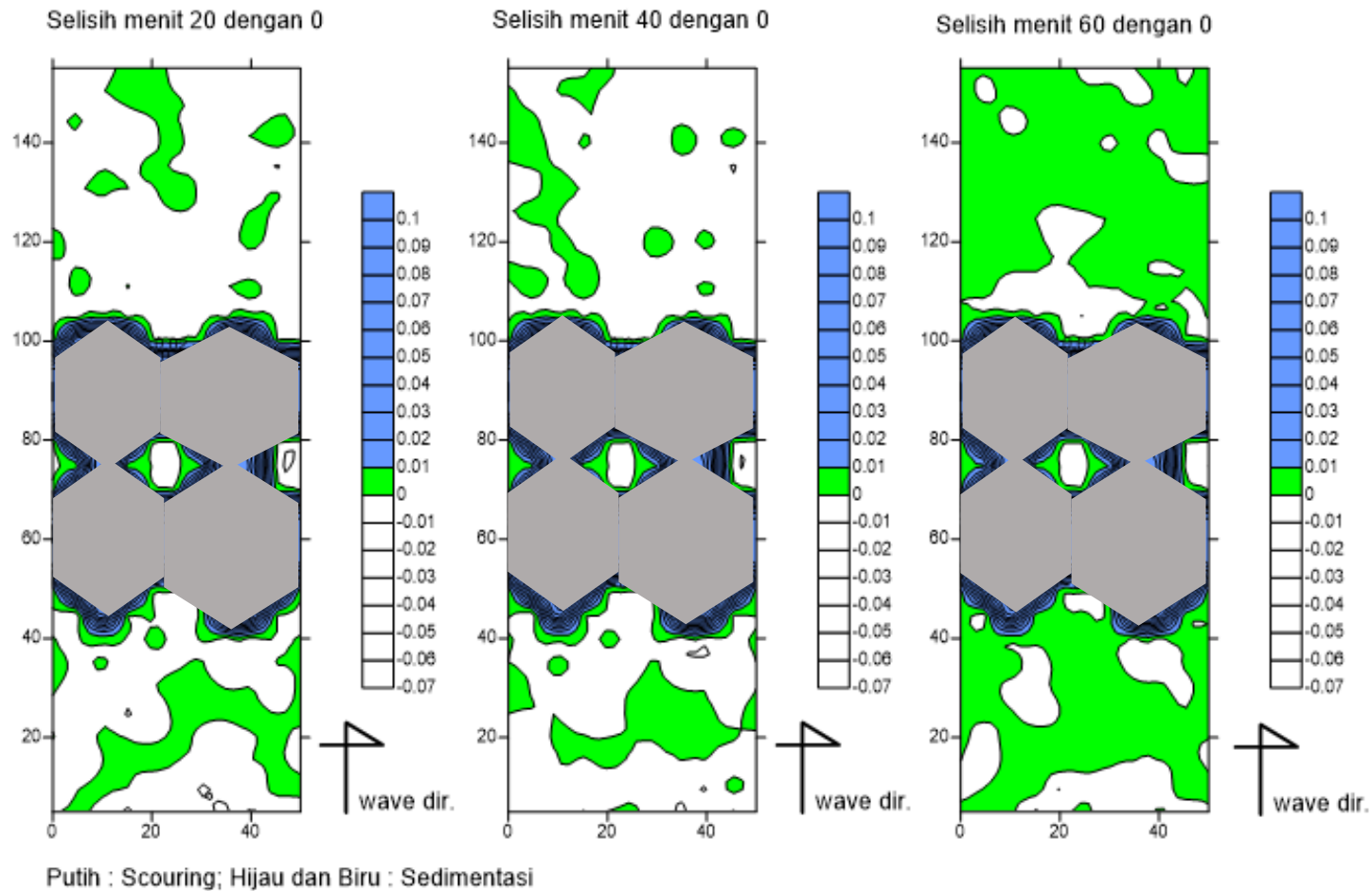
Putih : Scouring; Hijau dan Biru : Sedimentasi

Gambar 16. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 8 gelombang reguler dengan gap 1D (H 18.2 cm T 4 detik)

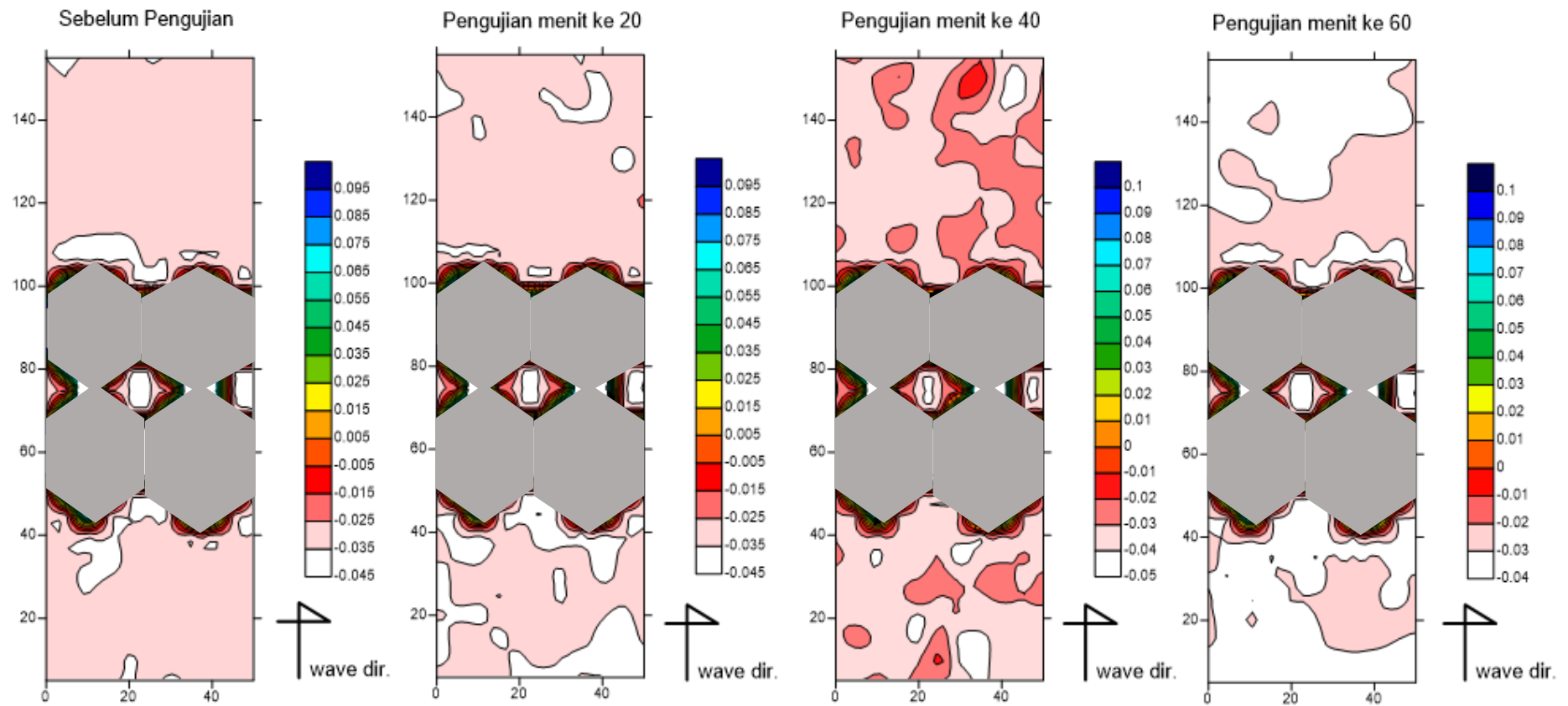




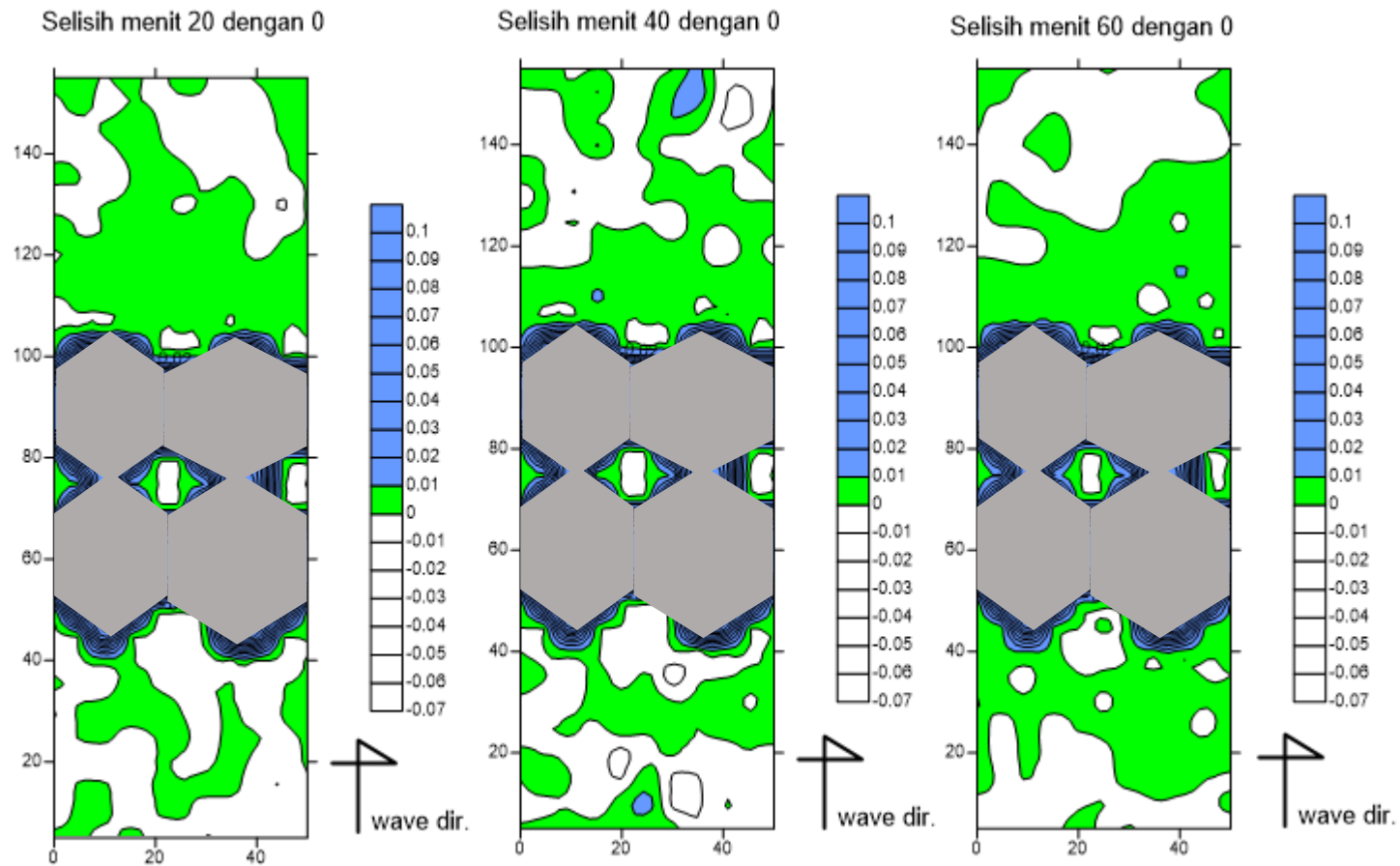
Gambar 17. Pengujian ke 9 dengan gelombang ireguler dengan gap 0D (H 6.1 cm T 2.2 detik)



Gambar 18. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 9 gelombang ireguler dengan gap 0D (H 6.1 cm T 2.2 detik)

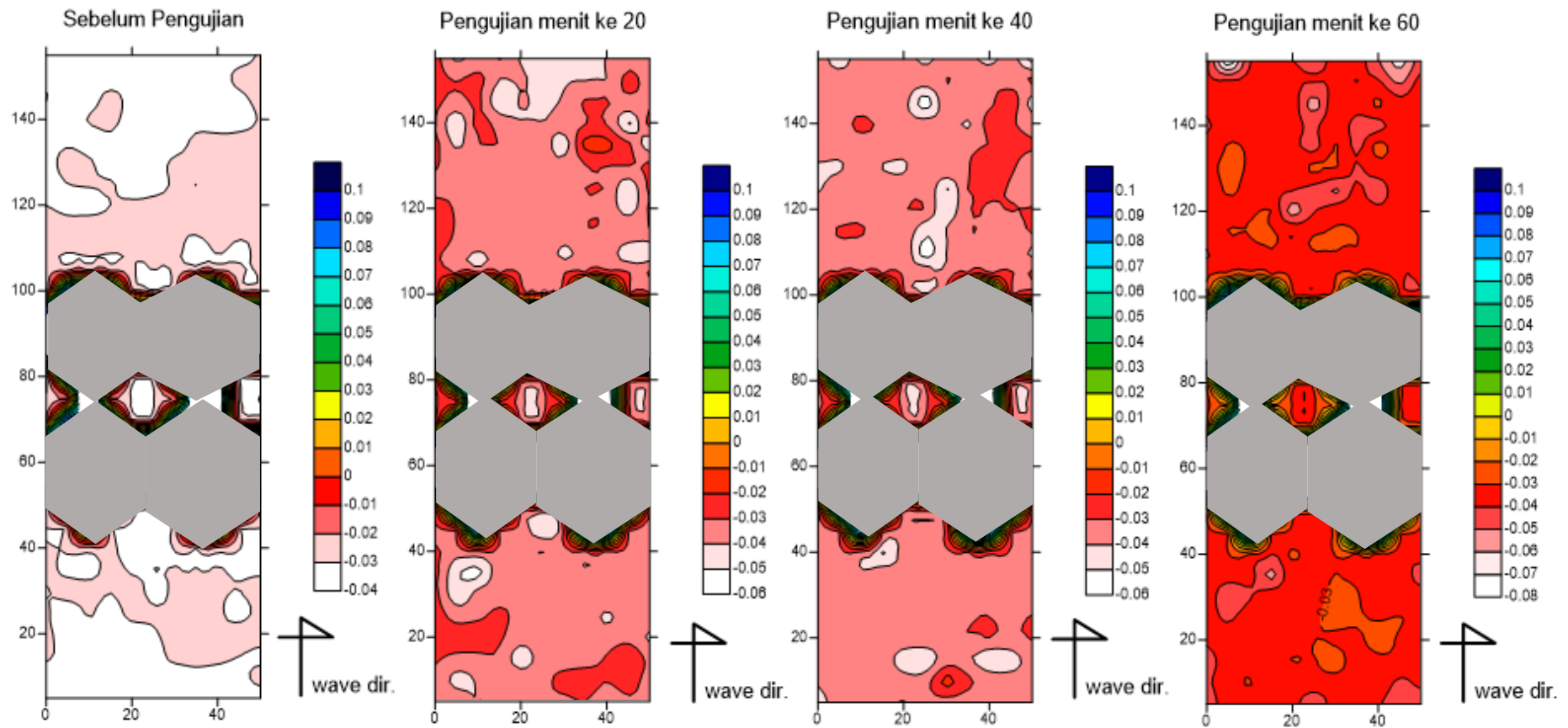


Gambar 19. Pengujian ke 10 dengan gelombang ireguler dengan gap 0D (H 9 cm T 2.2 detik)

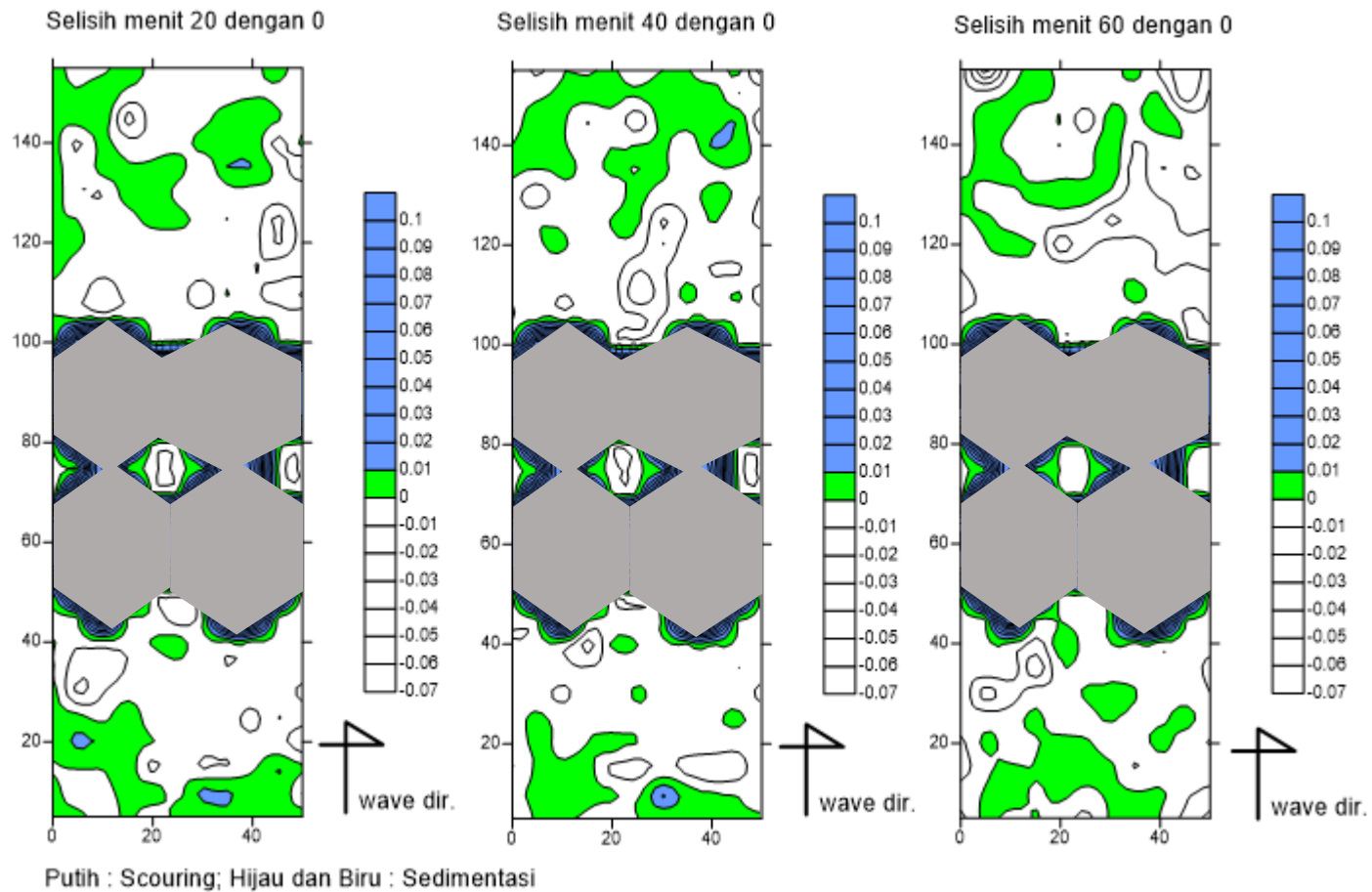


Putih : Scouring; Hijau dan Biru : Sedimentasi

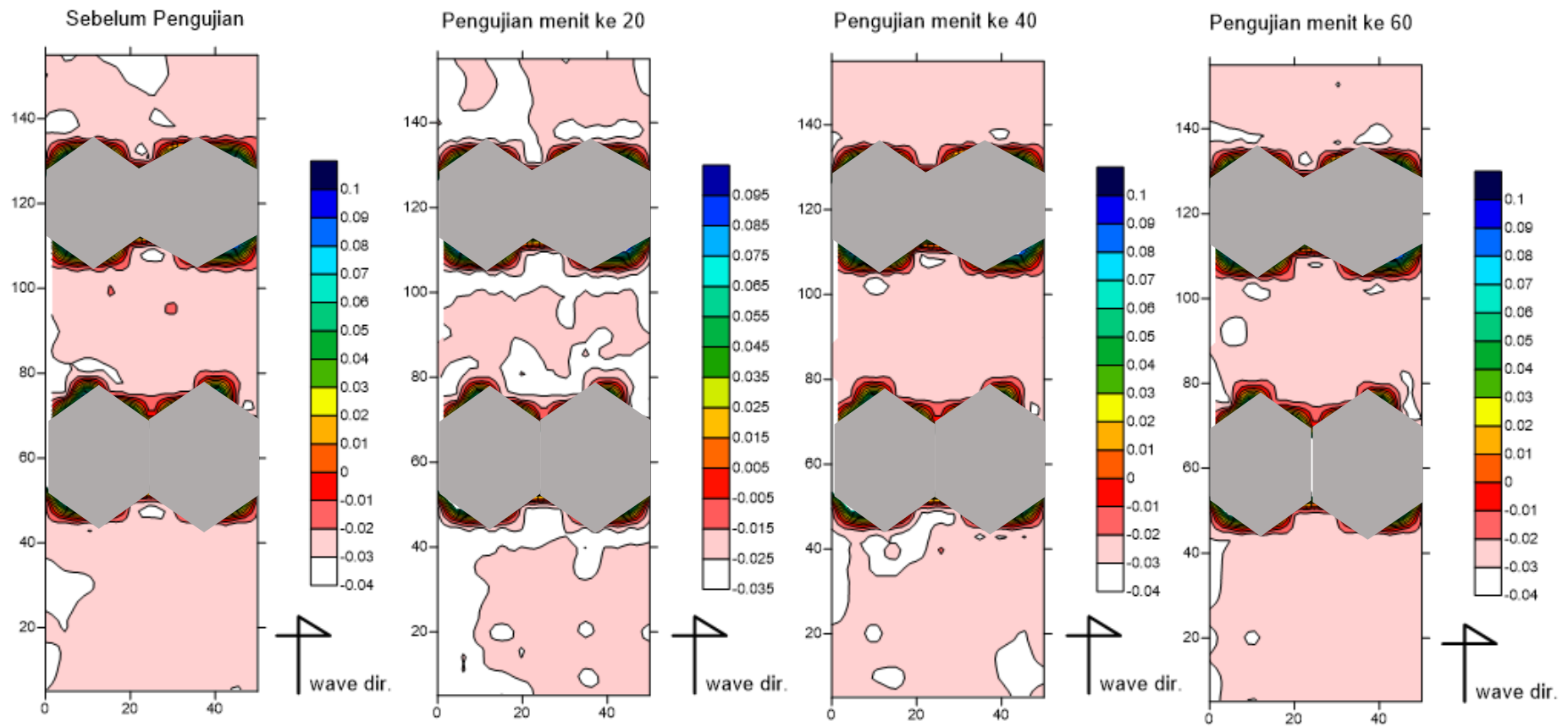
Gambar 20. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 10 gelombang ireguler dengan gap 0D (H 9 cm T 2.2 detik)



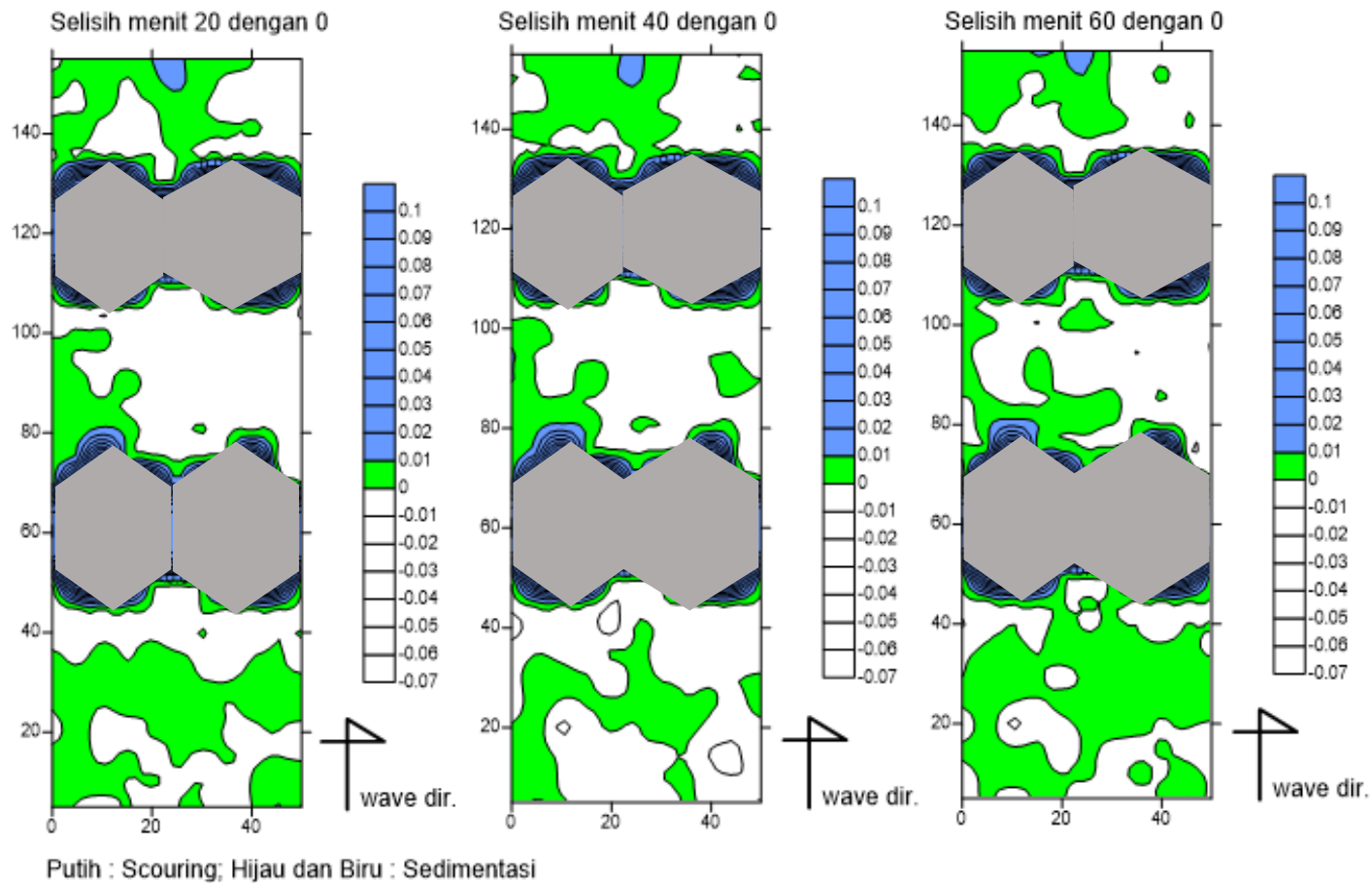
Gambar 21. Pengujian ke 11 dengan gelombang ireguler dengan gap 0D (H 11.2 cm T 2.2 detik)



Gambar 22. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 11 gelombang ireguler dengan gap 0D (H 11.2 cm T 2.2 detik)

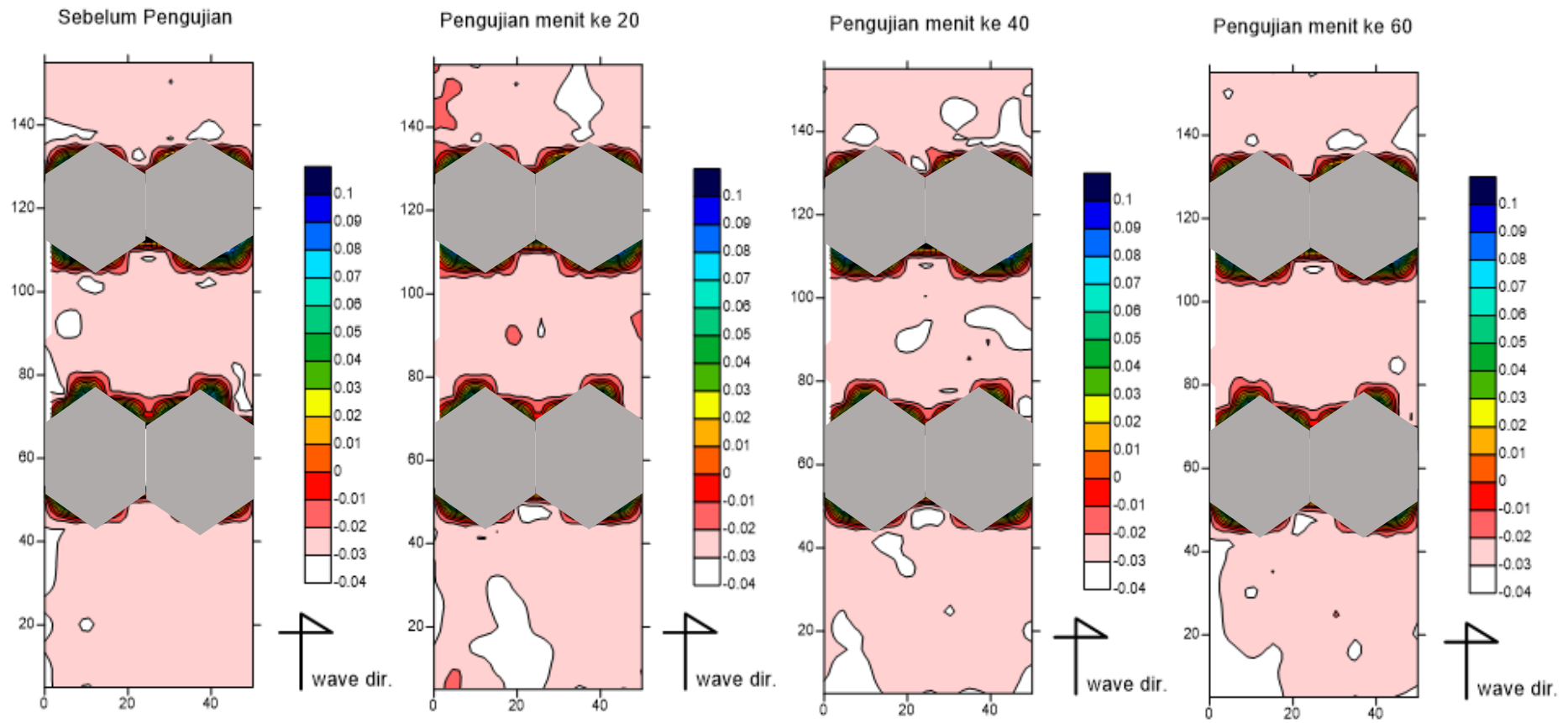


Gambar 23. Pengujian ke 12 dengan gelombang ireguler dengan gap 1D (H 6 cm T 1.9 detik)

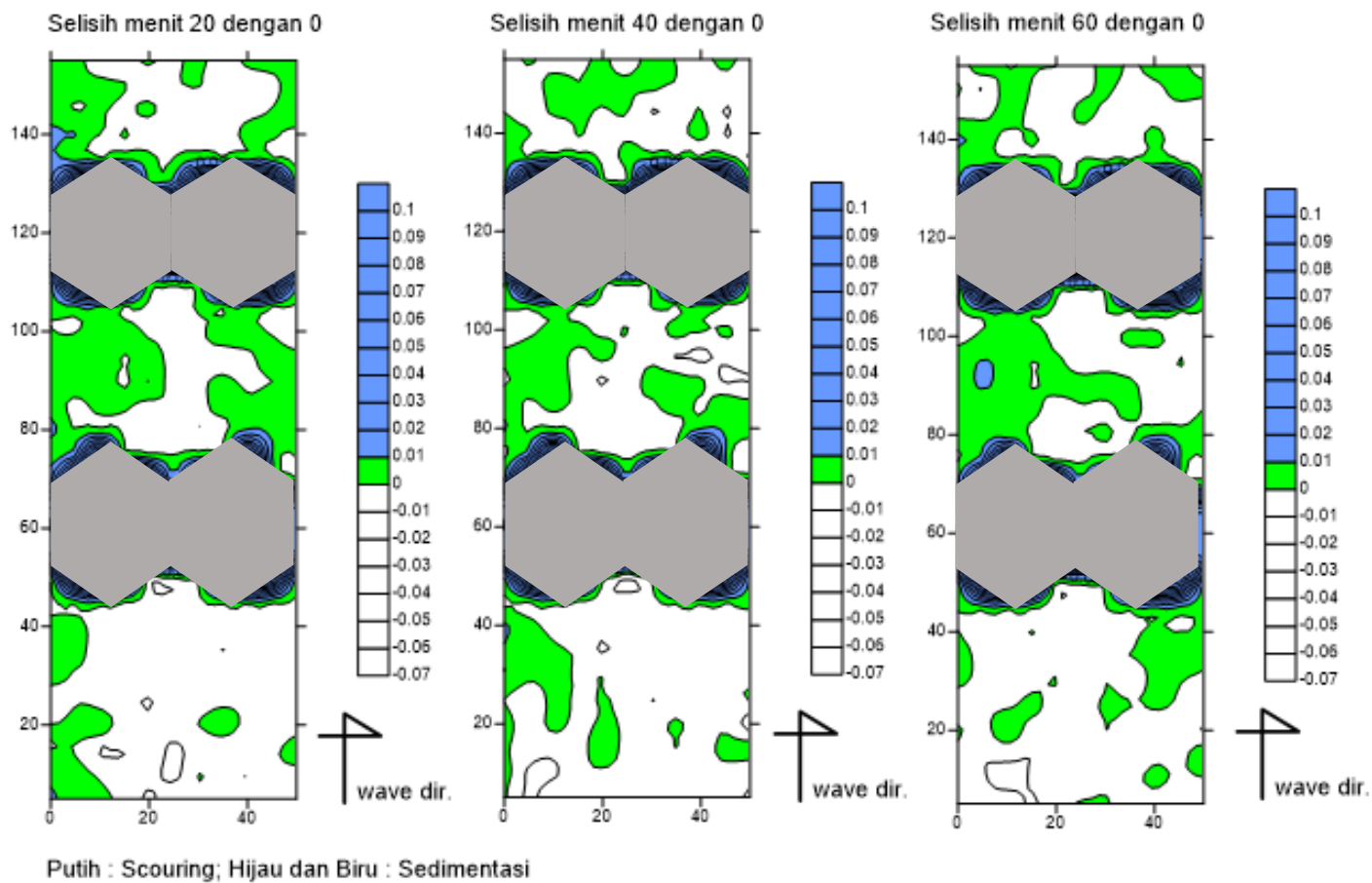


Gambar 24. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 12 gelombang ireguler dengan gap 1D (H 6 cm T 1.9 detik)

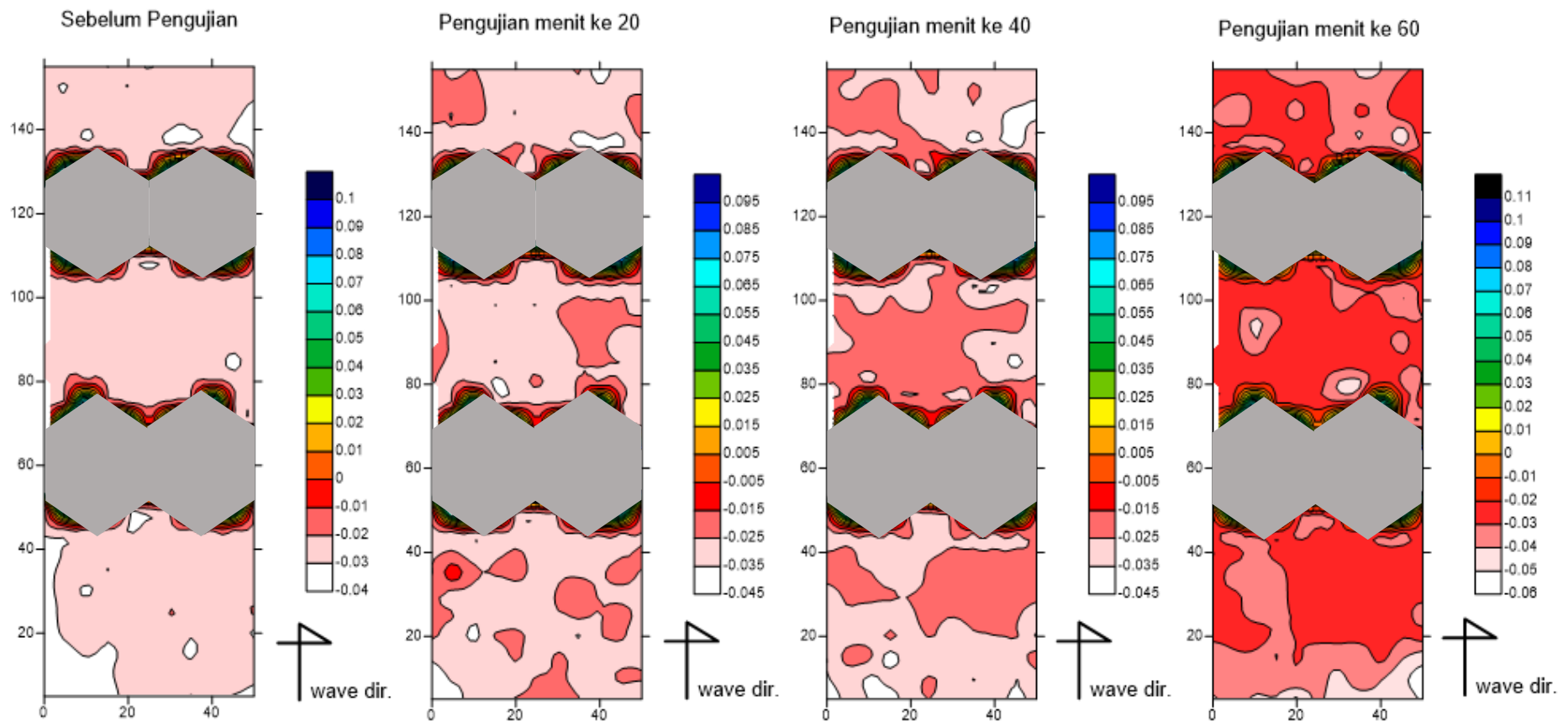




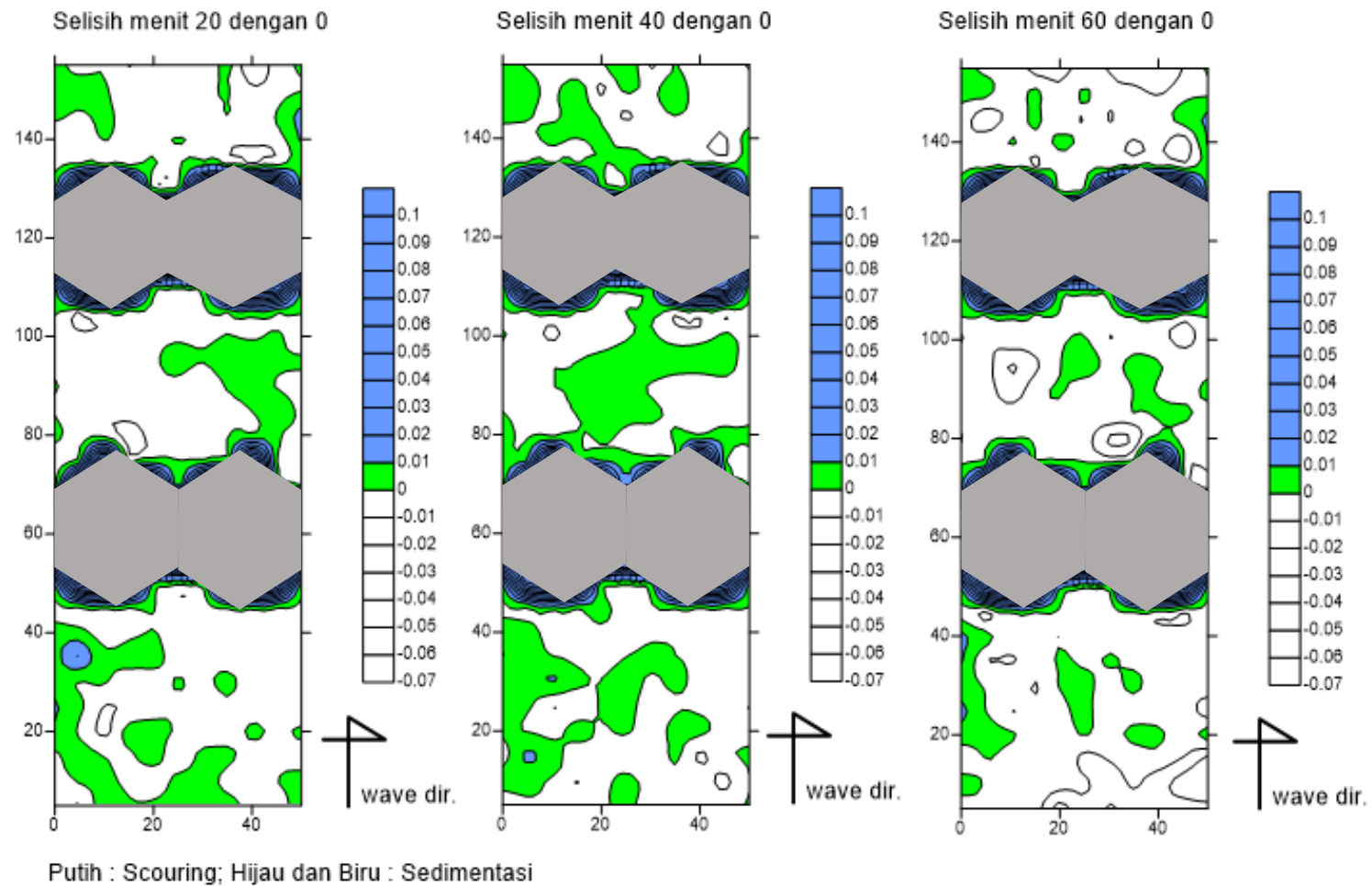
Gambar 25. Pengujian ke 13 dengan gelombang ireguler dengan gap 1D (H 8.9 cm T 2.1 detik)



Gambar 26. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 13 gelombang ireguler dengan gap 1D (H 8.9 cm T 2.1 detik)



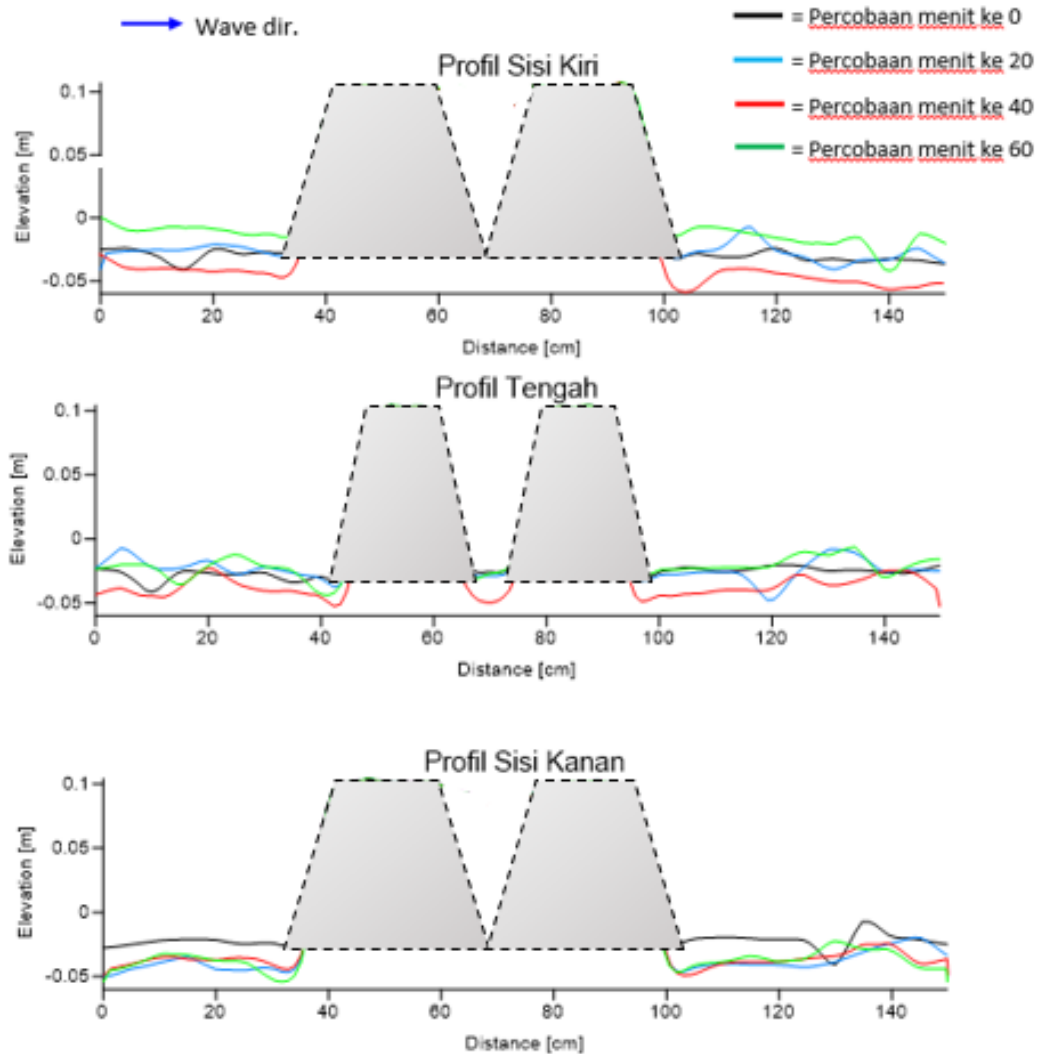
Gambar 27. Pengujian ke 14 dengan gelombang ireguler dengan gap 1D (H 10.7 cm T 2 detik)



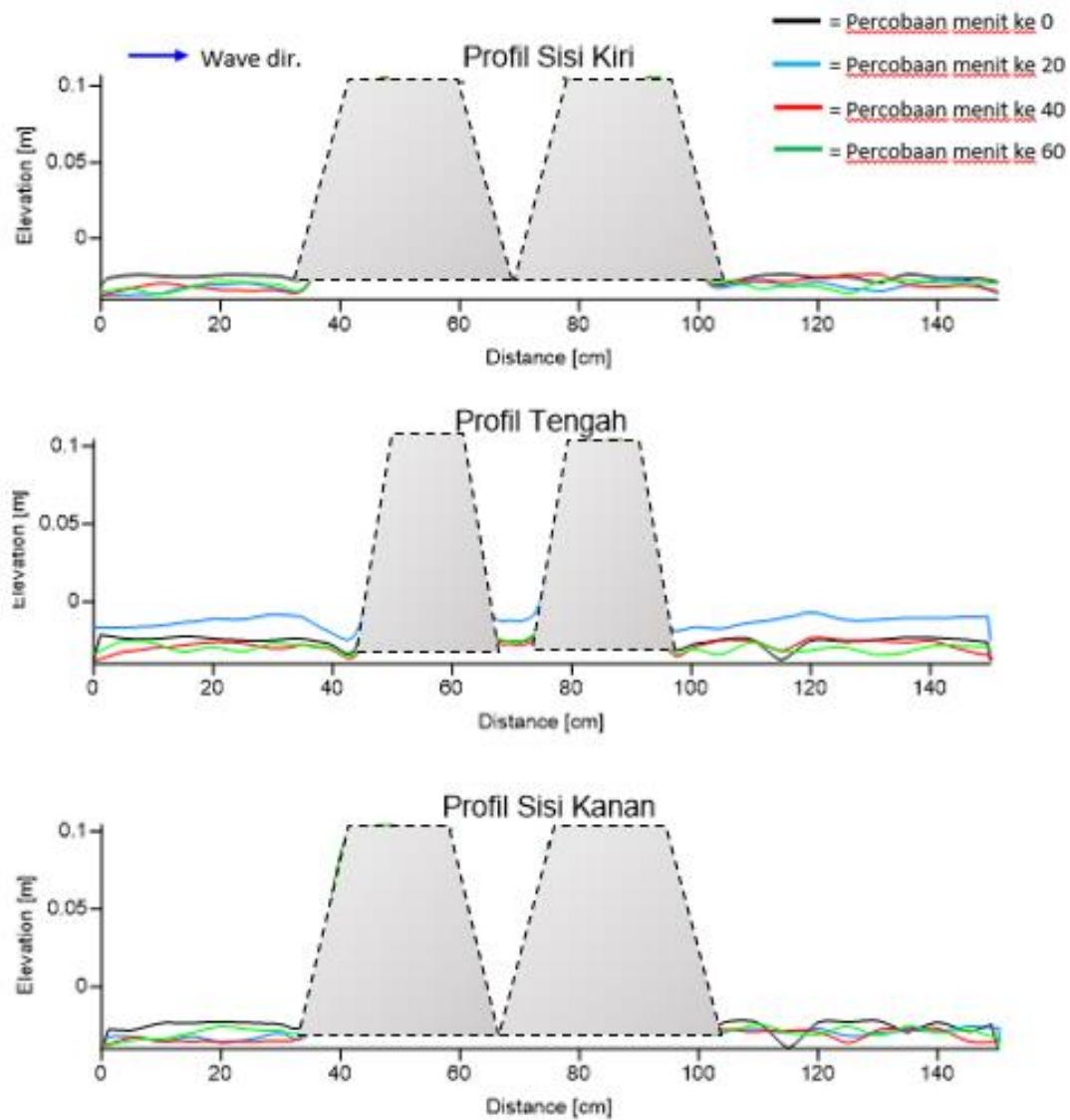
Gambar 28. Plot area scouring – sedimentasi pada percobaan ke 14 gelombang ireguler dengan gap 1D (H 10.7 cm T 2 detik)

## LAMPIRAN C

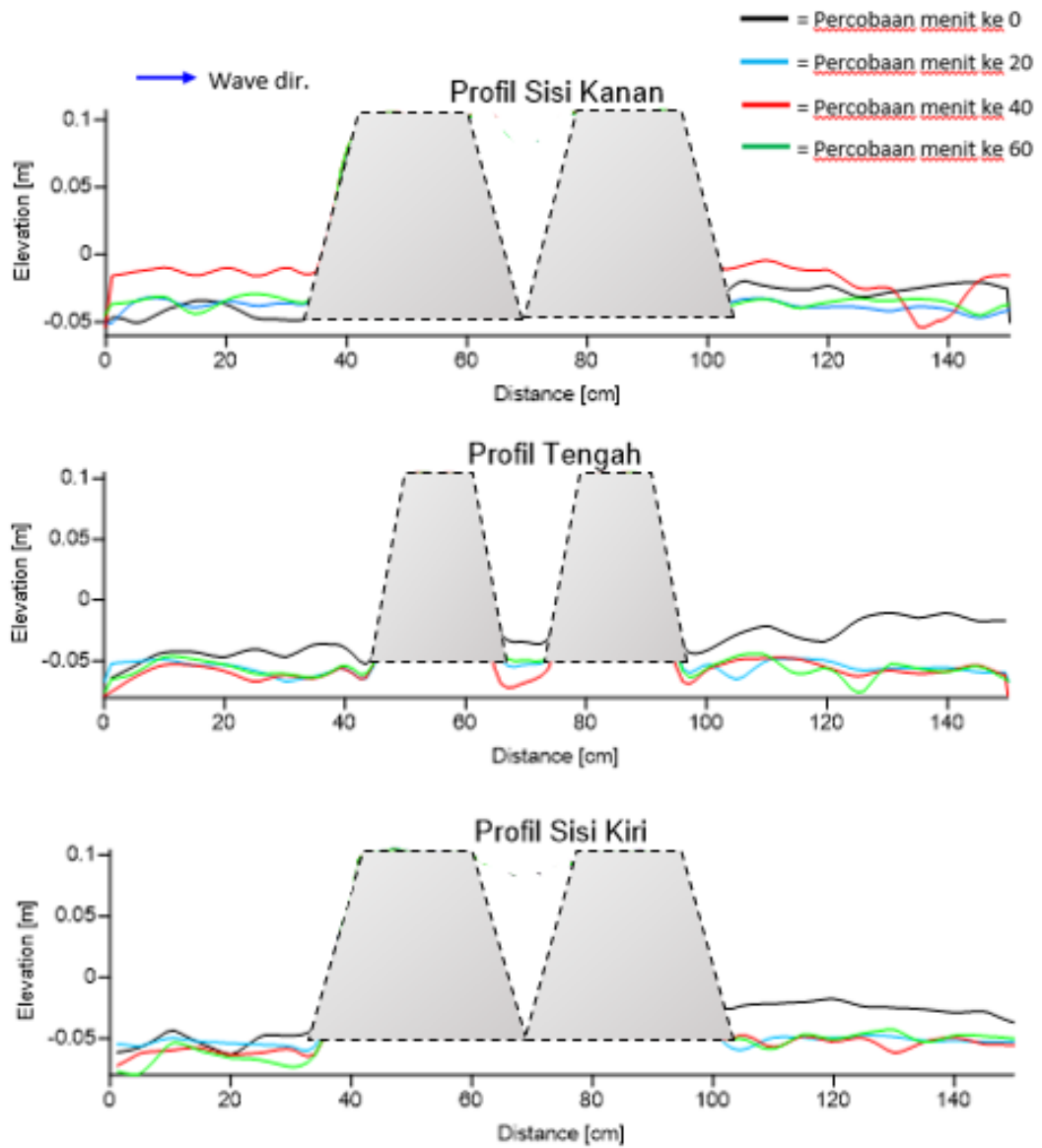
### POTONGAN MELINTANG KONTUR UNTUK SETIAP PENGUJIAN



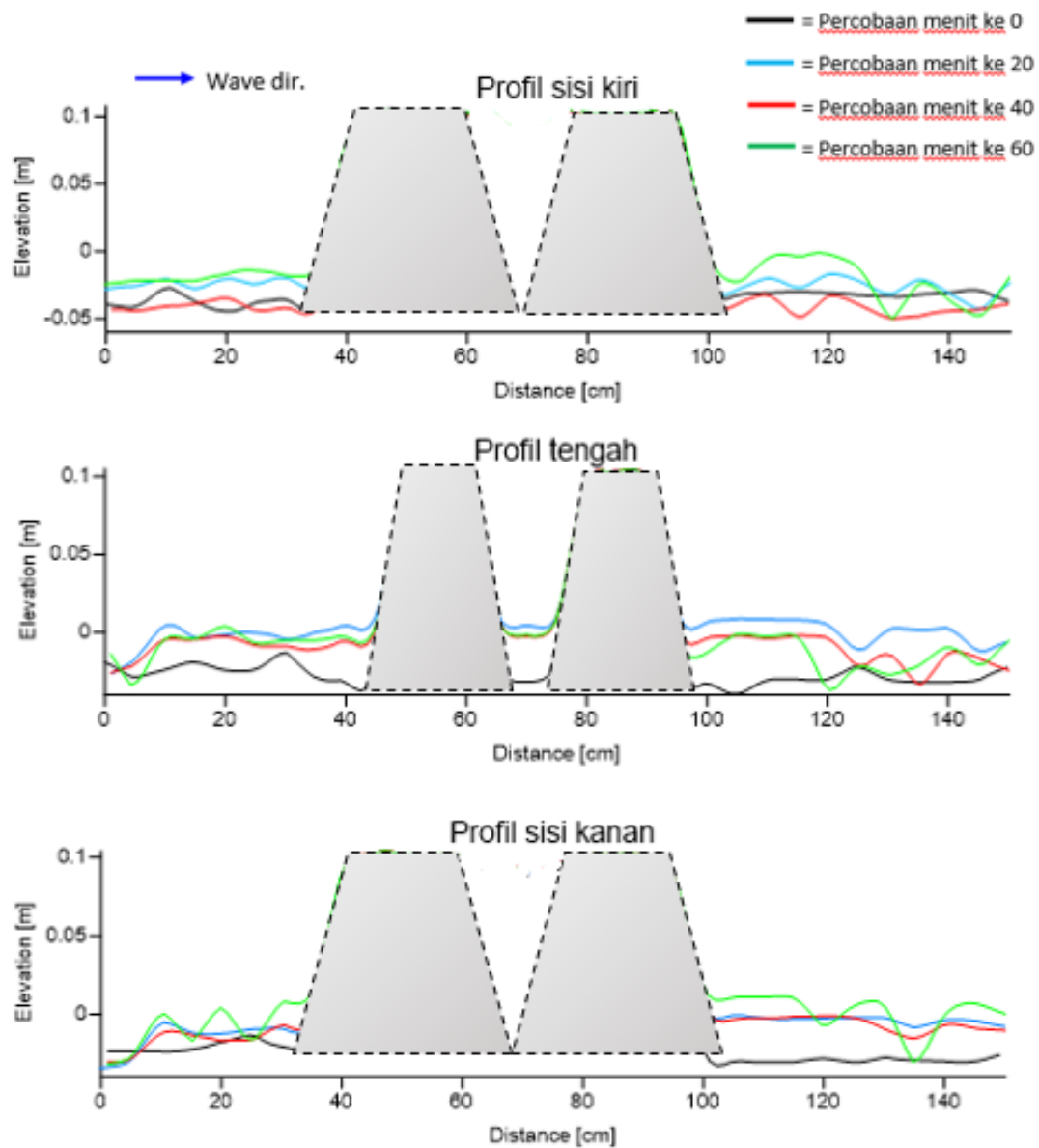
Gambar 1. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 1 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).



Gambar 2. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 2 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).

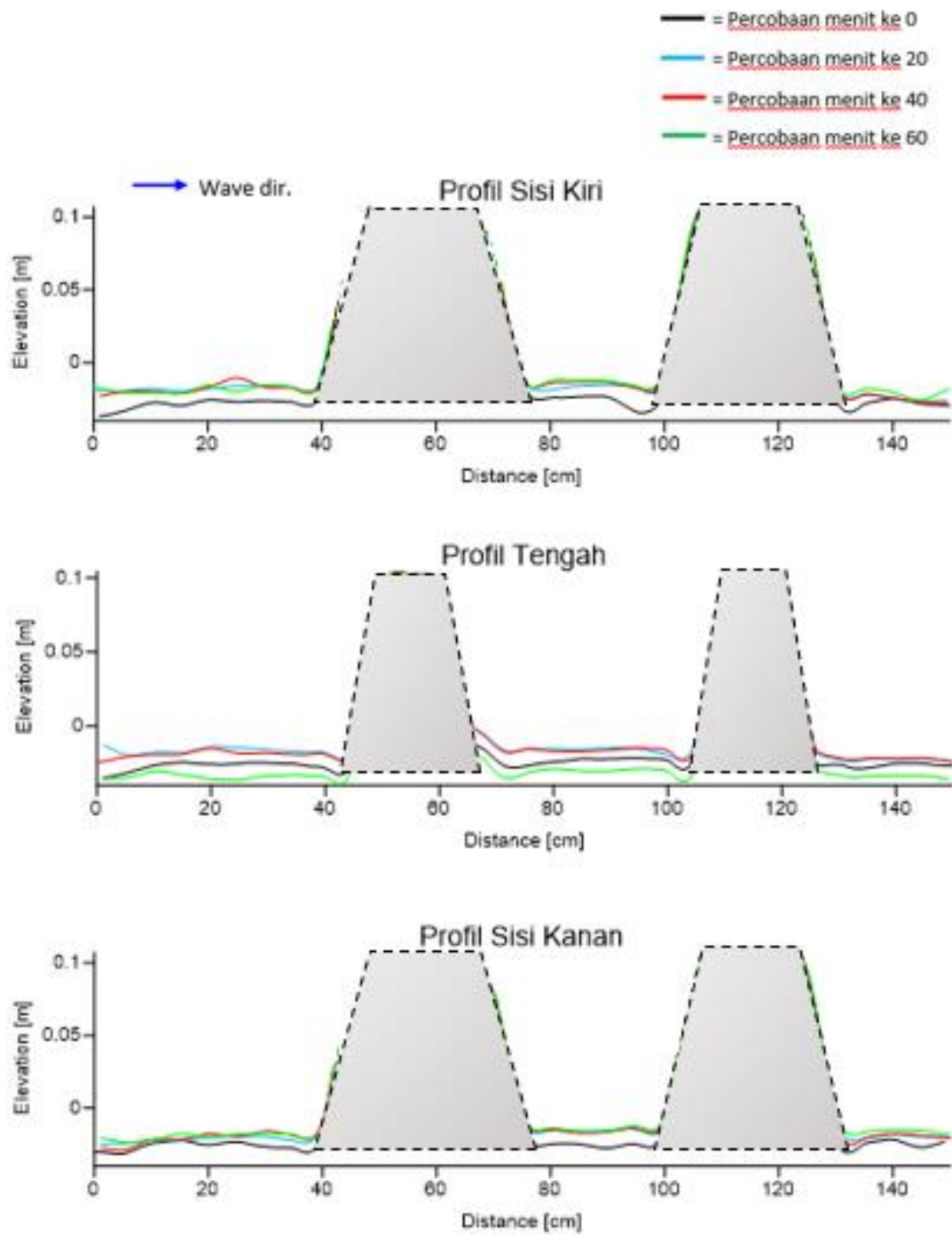


Gambar 3. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 3 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).

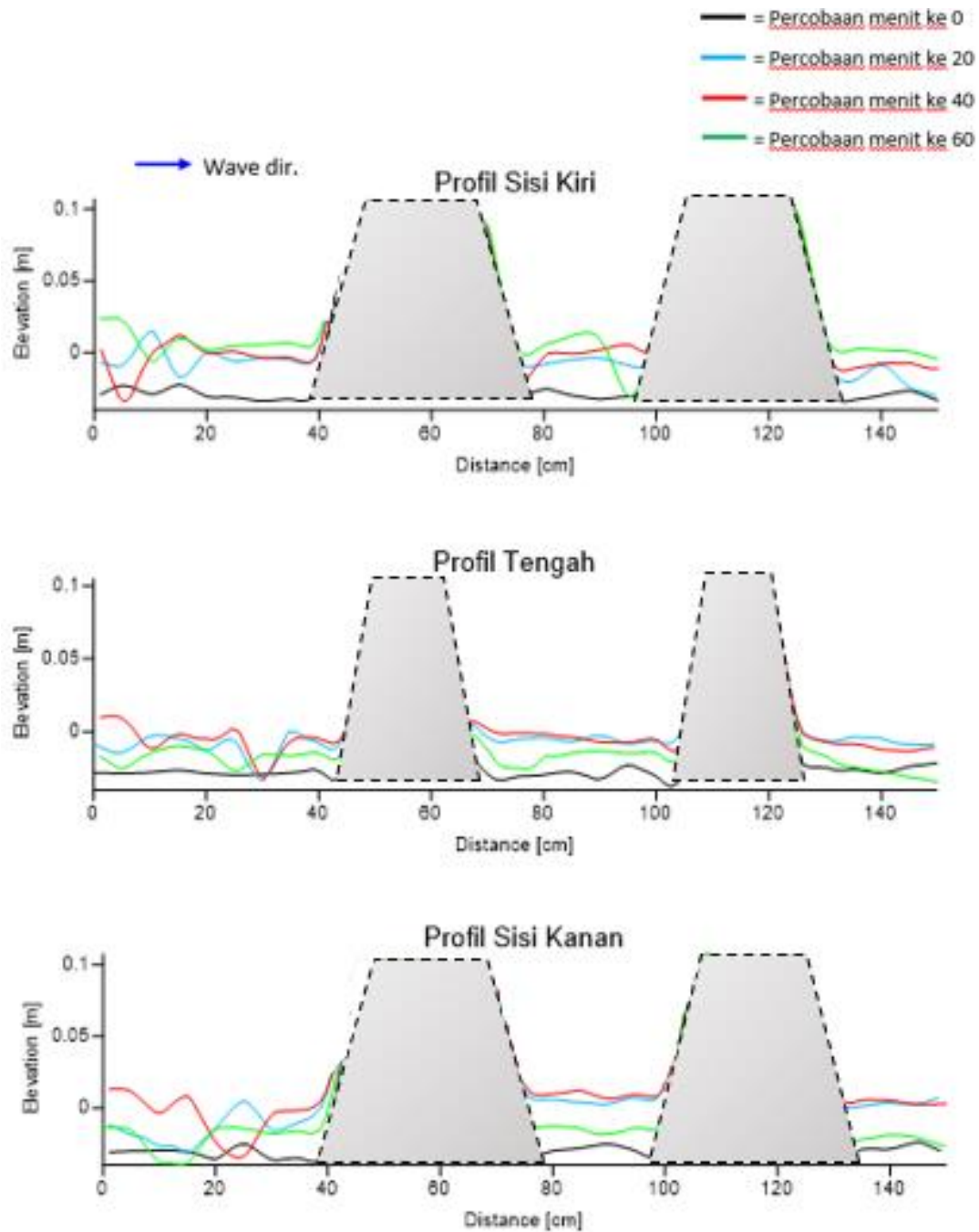


Gambar 4. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 4 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).

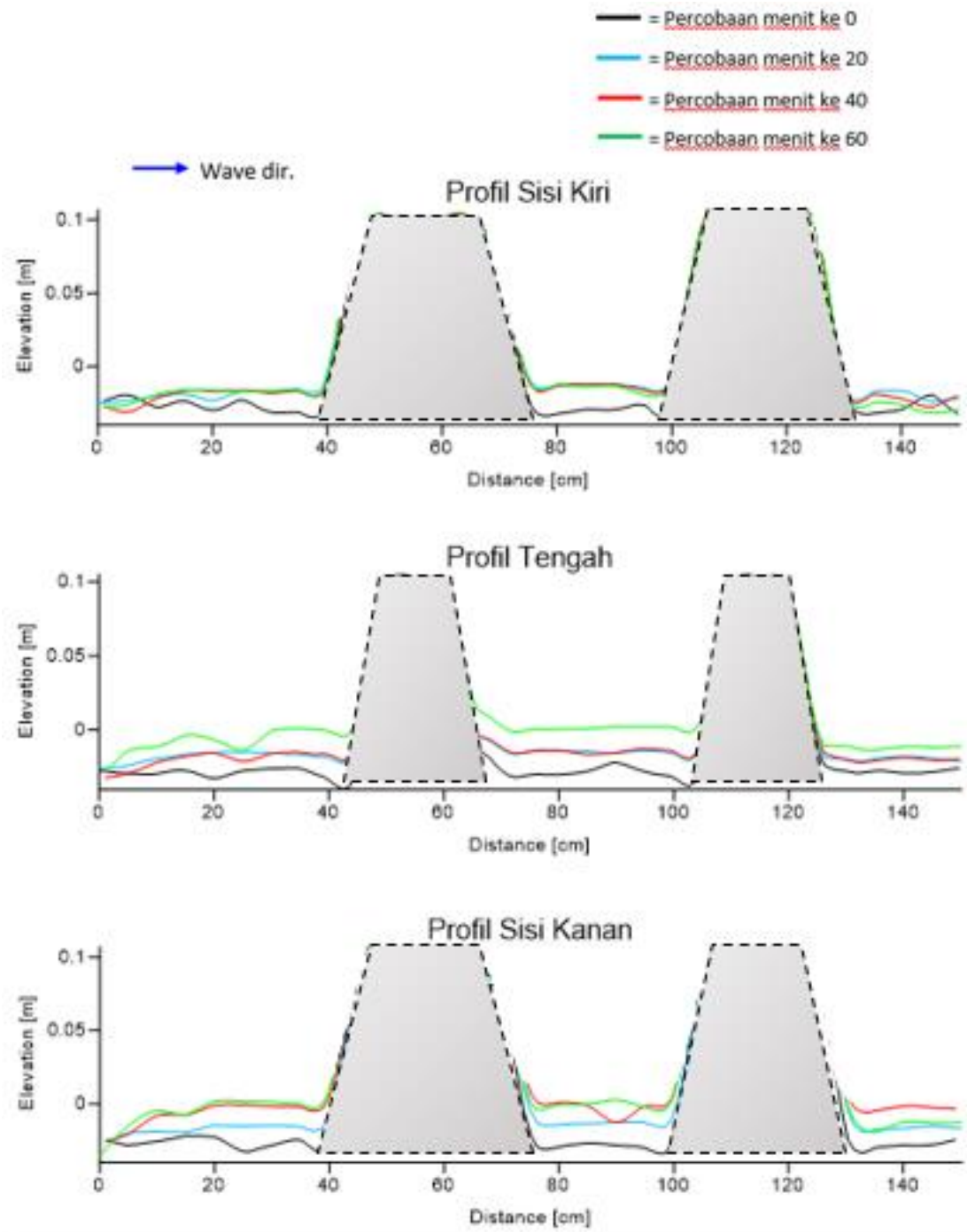




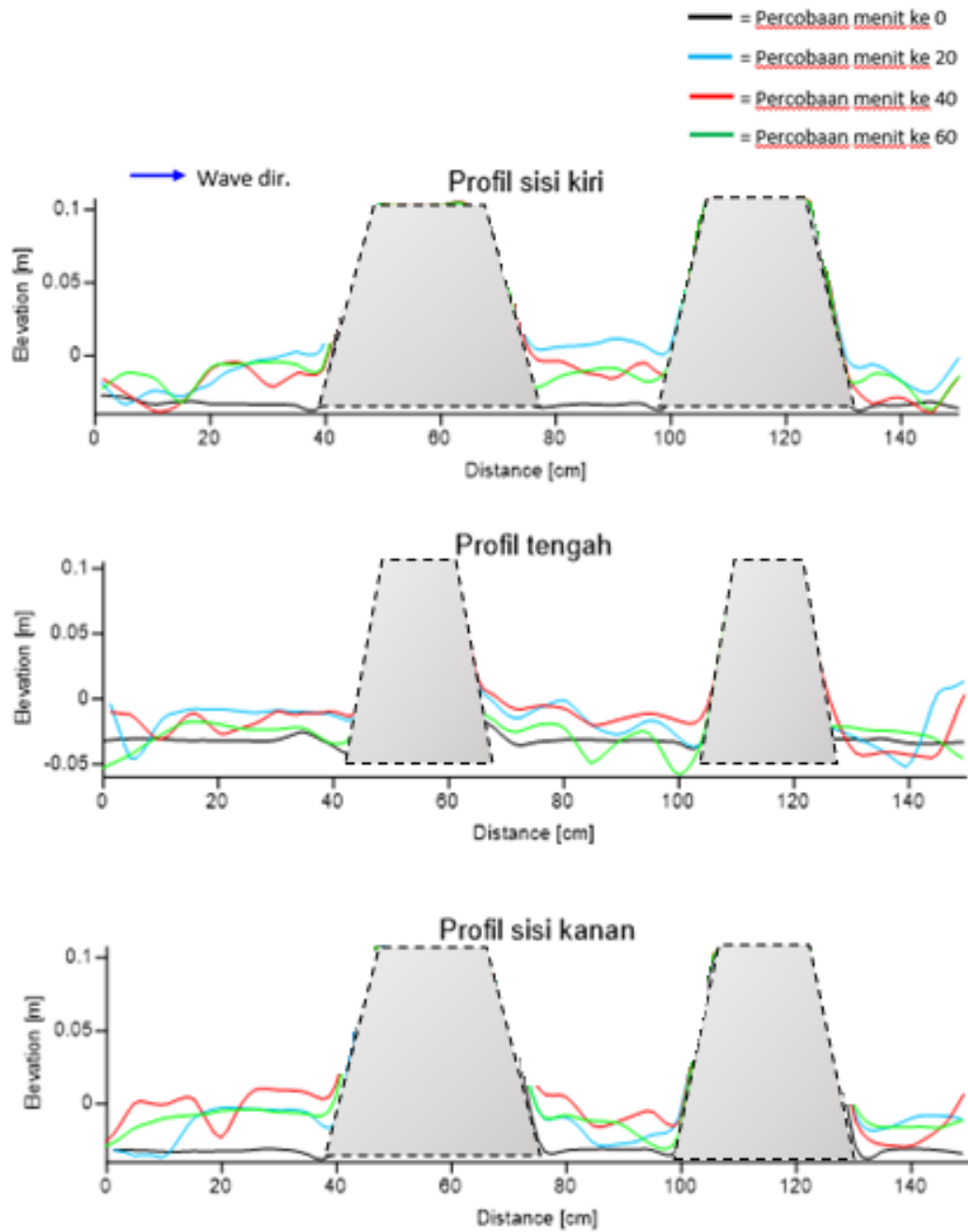
Gambar 5. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 5 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).



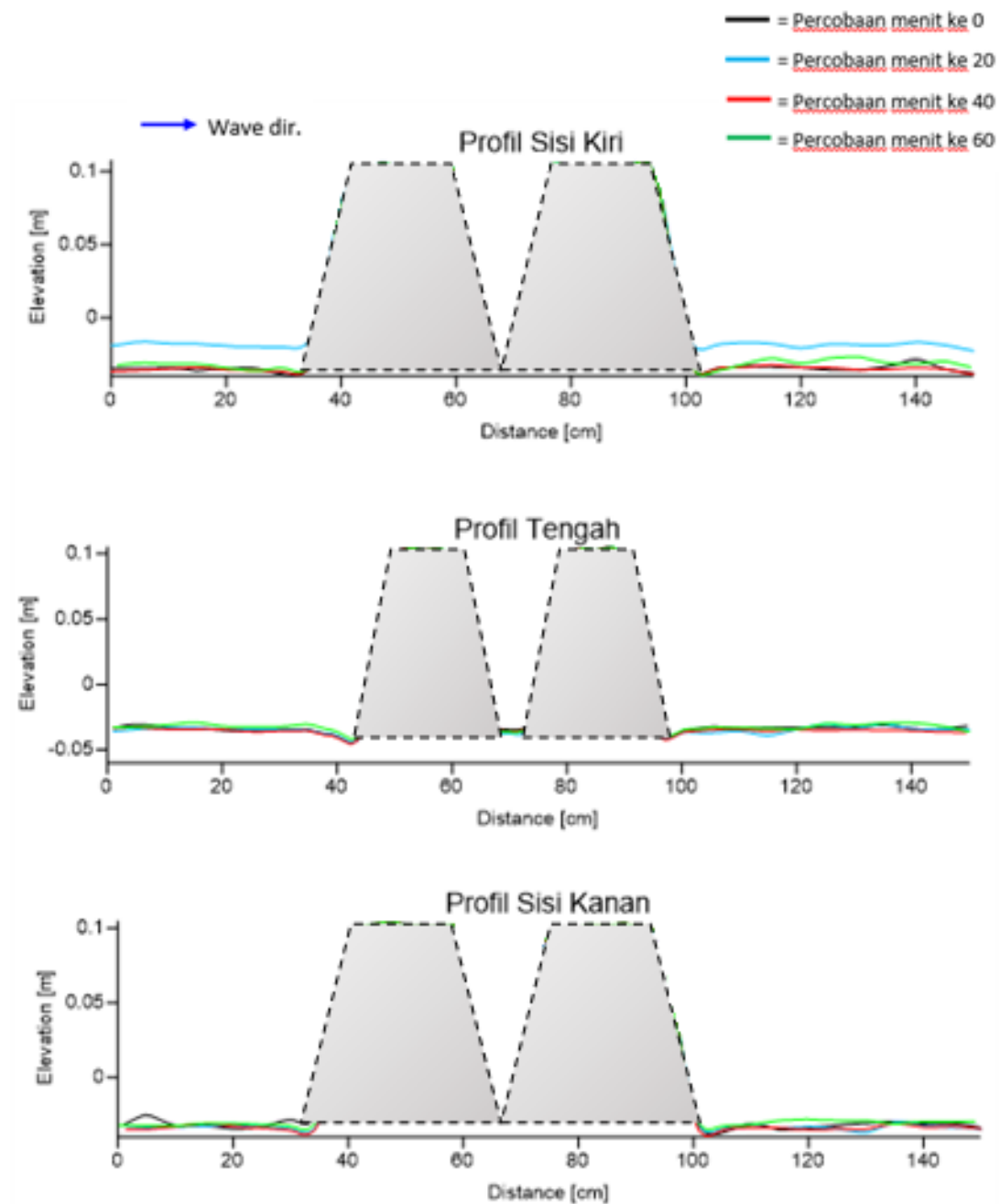
Gambar 6. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 6 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).



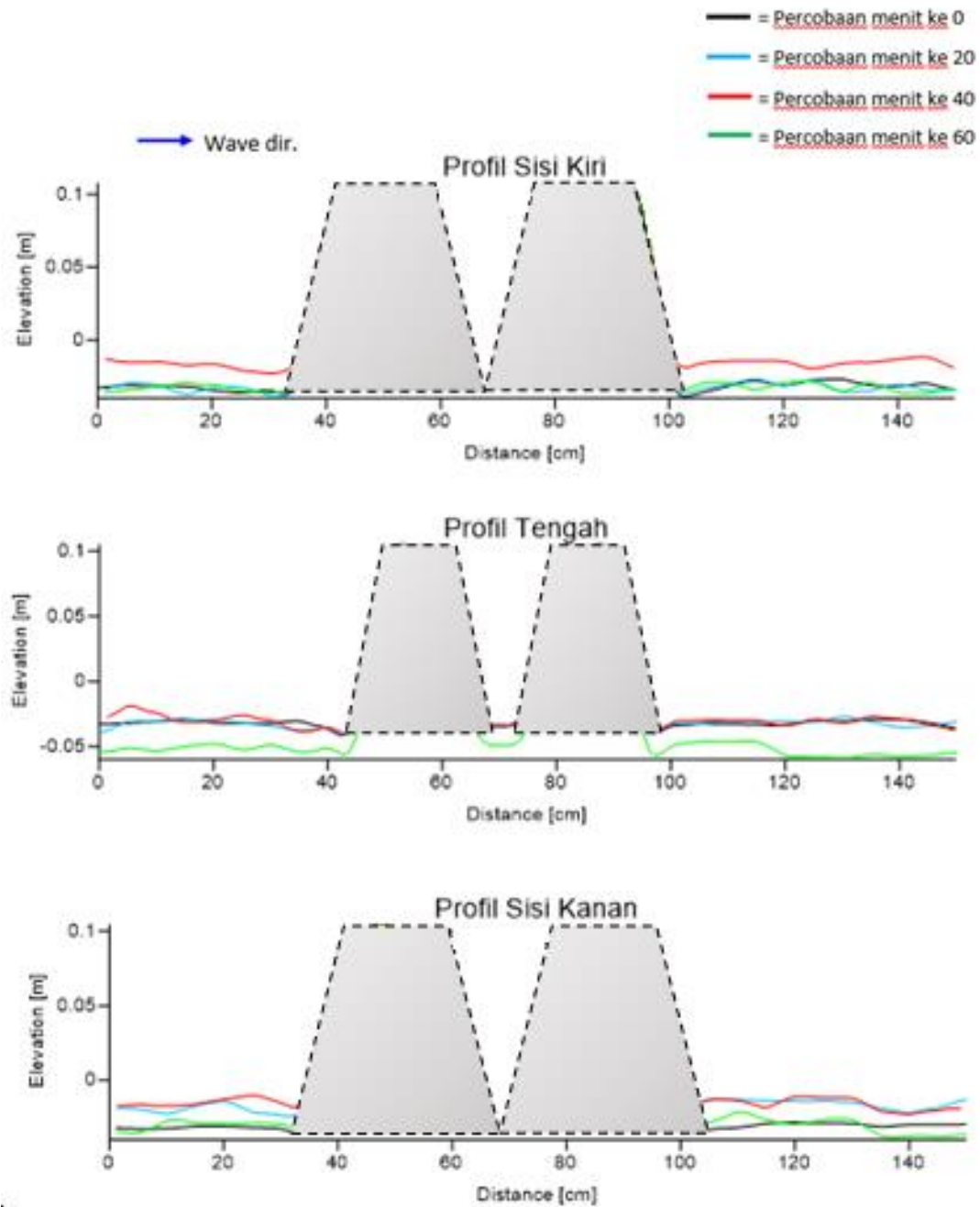
Gambar 7. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 7 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).



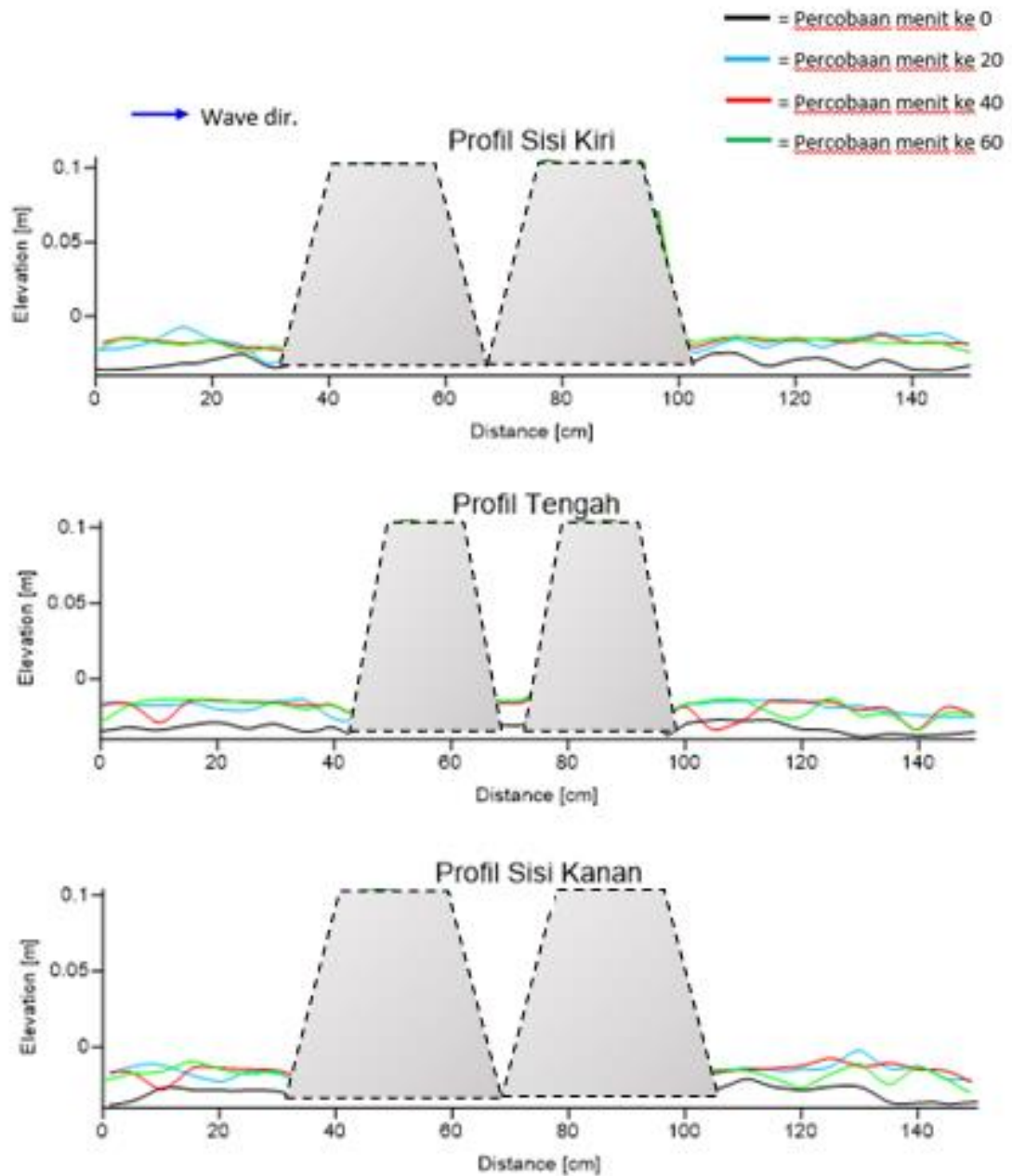
Gambar 8. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 8 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).



Gambar 9. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 9 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).

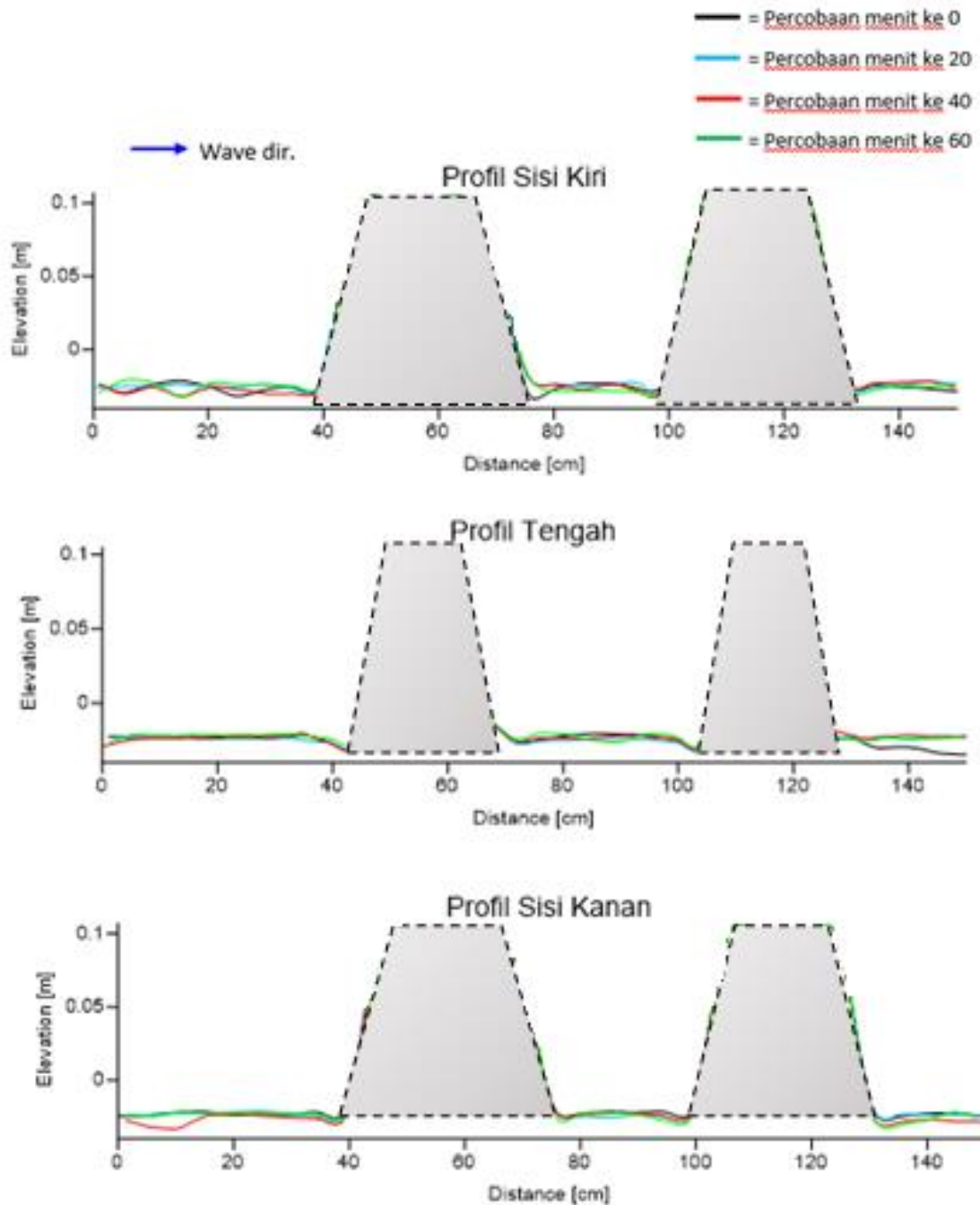


Gambar 10. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 10 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).



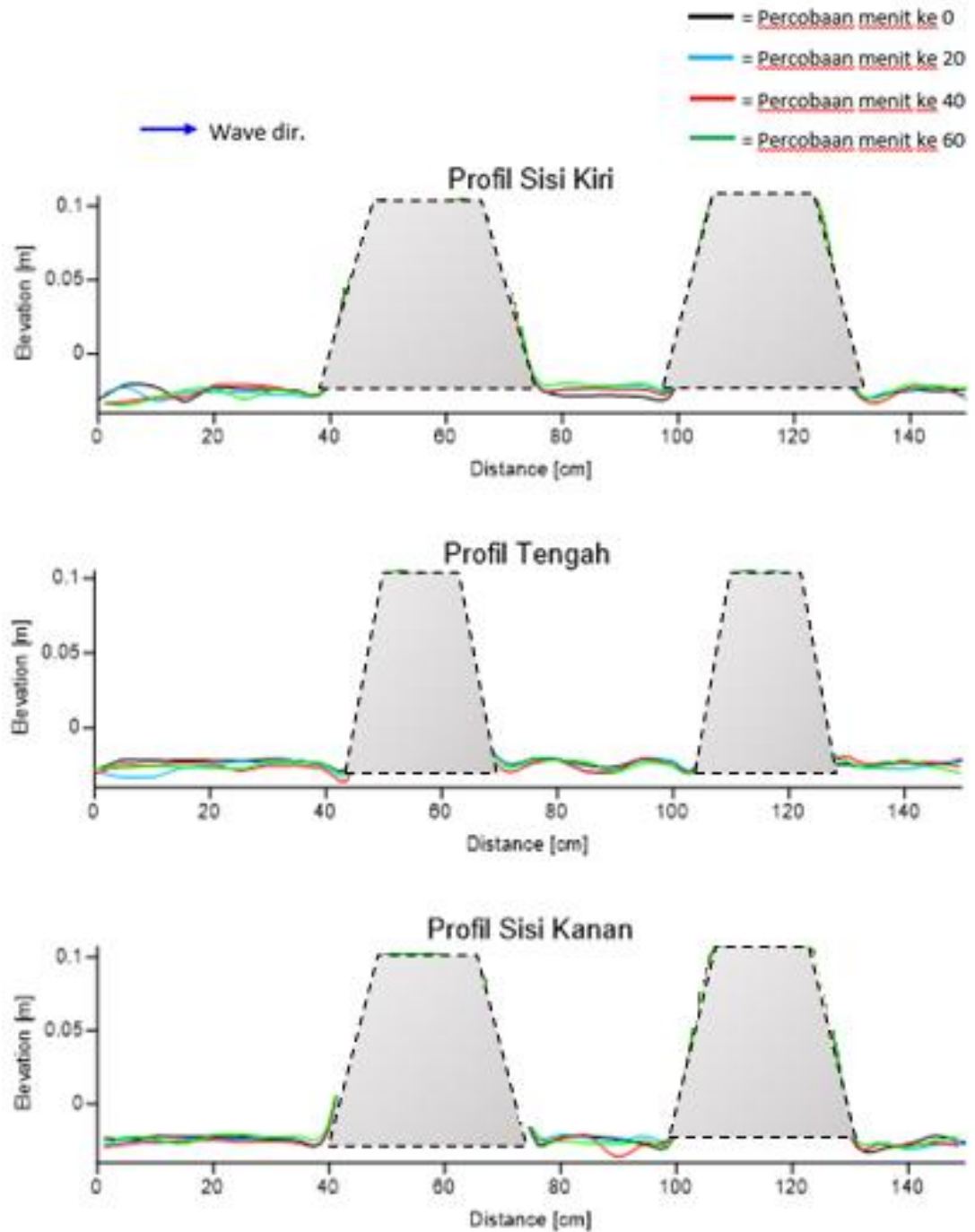
Gambar 11. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 11 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).



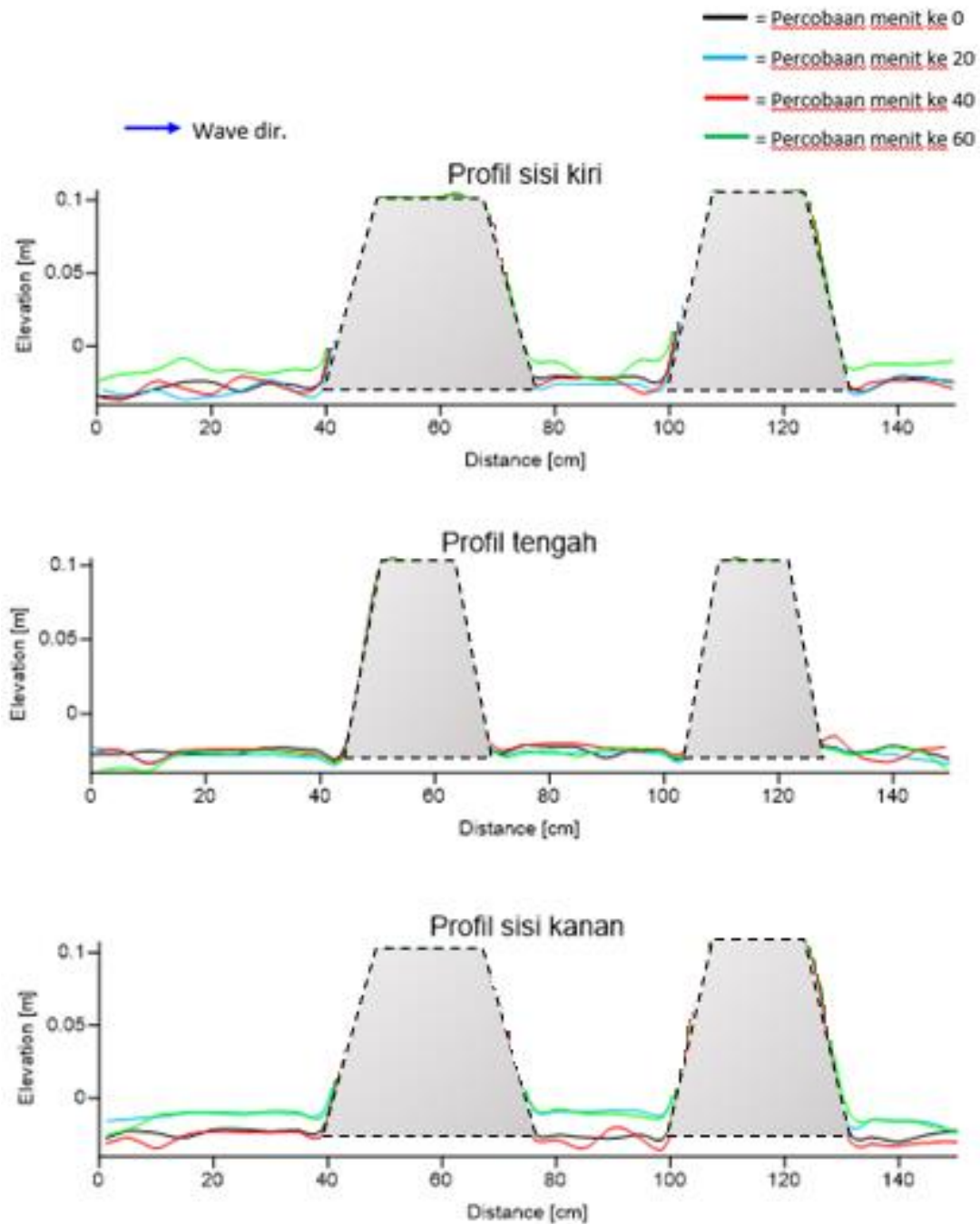


Gambar 12. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 12 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).





Gambar 13. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 13 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).



Gambar 14. Profil potongan melintang kontur percobaan ke 14 untuk sisi kiri (10 cm dari dinding kaca), tengah (25 cm dari dinding kaca), dan sisi kanan (40 cm dari dinding kaca).

## LAMPIRAN D

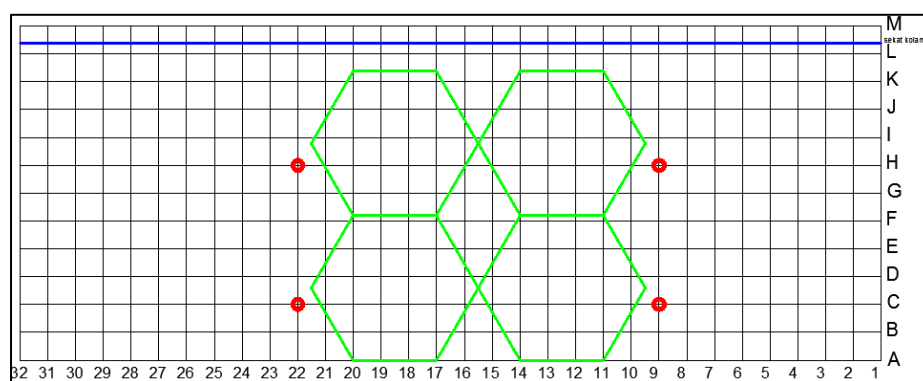
### PEMBACAAN KEDALAMAN SCOURING INTERVAL 5 MENIT

Percobaan dengan gelombang reguler dan ireguler untuk jarak gap 0D

C9 dan H9 : Titik ukur berada di depan struktur

C22 dan H22 : Titik ukur berada di belakang struktur

← wave dir.



**Gambar 1.** Lokasi titik ukur untuk jarak gap 0D

**Tabel 1.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 1

Percobaan Ke 1 (H 8.3 cm T 2.0 detik G 0D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	C9	H9	C22	H22
<b>5</b>	2.1	2.6	2.8	2.8
<b>10</b>	2.2	2.5	2.9	2.7
<b>15</b>	2.8	2.5	2.9	2.8
<b>20</b>	2.8	2.6	2.9	2.8
<b>25</b>	2.7	2.5	3	2.9
<b>30</b>	2.5	2.6	2.8	3
<b>35</b>	2.5	2.5	2.8	2.8
<b>40</b>	2.6	2.5	3	2.9
<b>45</b>	2.7	2.5	2.8	2.8
<b>50</b>	2.8	2.8	2.9	3.2
<b>55</b>	2.9	2.8	3	3.7
<b>60</b>	2.8	2.8	3	3.7

**Tabel 2.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 2

Percobaan Ke 2 (H 17.2 cm T 2.0 detik G 0D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	<b>C9</b>	<b>H9</b>	<b>C22</b>	<b>H22</b>
<b>5</b>	3.2	3.5	3.6	3.8
<b>10</b>	3.2	3.2	3.7	3.3
<b>15</b>	3.1	3.1	3	3.9
<b>20</b>	3.2	2.9	2.5	3.5
<b>25</b>	3.5	3	2.6	3.4
<b>30</b>	3.1	3.3	2.5	3.7
<b>35</b>	3.2	3.3	2.5	3.4
<b>40</b>	3.4	3.4	2.5	2.1
<b>45</b>	3.4	3.8	2.6	2.6
<b>50</b>	3.5	3.5	2.7	2.5
<b>55</b>	3.5	3.4	2.7	2.5
<b>60</b>	3.5	3.5	2.4	2.5

**Tabel 3.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 3

Percobaan Ke 3 (H 11.4 cm T 4.0 detik G 0D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	<b>C9</b>	<b>H9</b>	<b>C22</b>	<b>H22</b>
<b>5</b>	3.1	3.5	3.3	3.2
<b>10</b>	3.3	3.6	3.7	3.1
<b>15</b>	3.4	3.8	3.7	3.5
<b>20</b>	3.5	3.9	3.1	3.4
<b>25</b>	3.6	4	3.5	3.6
<b>30</b>	4.1	4.3	3.4	3.3
<b>35</b>	4.4	4.1	3.2	3.2
<b>40</b>	4.4	4.1	3.2	2.9
<b>45</b>	4.3	3.9	4.1	3.6
<b>50</b>	4.1	3.8	4.2	4
<b>55</b>	3.8	4	3.8	3.2
<b>60</b>	3.5	4.2	3.3	2.7

**Tabel 4.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 4

Percobaan Ke 4 (H 17.3 cm T 4.0 detik G 0D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	<b>C9</b>	<b>H9</b>	<b>C22</b>	<b>H22</b>
<b>5</b>	4.2	3.5	3.1	3.1
<b>10</b>	4	3.4	3.5	3.2
<b>15</b>	4.3	3	3.6	3.4
<b>20</b>	4.6	4.1	4.4	3.4
<b>25</b>	4.3	3.1	4.2	3.8
<b>30</b>	4.6	3.5	3.9	3.6
<b>35</b>	4.1	4	3.5	3
<b>40</b>	4.8	4.3	4	3.6
<b>45</b>	3.9	4	3.5	3
<b>50</b>	3.6	4	3.5	3.4
<b>55</b>	4	3.6	3	3
<b>60</b>	5	4.5	3.7	3.6

**Tabel 5.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 9

Percobaan Ke 9 (H 6.1 cm T 2.2 detik G 0D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	<b>C9</b>	<b>H9</b>	<b>C22</b>	<b>H22</b>
<b>5</b>	2.2	3	3.2	3.2
<b>10</b>	2.8	3.2	3.3	3.1
<b>15</b>	3	3.1	3.3	3.3
<b>20</b>	3.4	3.4	3.4	3.5
<b>25</b>	3.5	3.3	3.2	3.2
<b>30</b>	3.5	3.1	3.1	3
<b>35</b>	3.5	3.3	3.1	3.2
<b>40</b>	3.6	3.5	3.4	3.5
<b>45</b>	3.4	3.1	3.1	3.2
<b>50</b>	3.5	3.2	3.3	3.2
<b>55</b>	3.5	3.2	3.2	3.2
<b>60</b>	3.6	3.2	3.2	3.2

**Tabel 6.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 10

Percobaan Ke 10 (H 9.0 cm T 2.2 detik G 0D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	<b>C9</b>	<b>H9</b>	<b>C22</b>	<b>H22</b>
<b>5</b>	3.5	2.9	2.5	2.6
<b>10</b>	3.4	3	2.8	2.8
<b>15</b>	3.5	3.2	3	3.4
<b>20</b>	3.4	3.5	3.1	3.1
<b>25</b>	3	3.5	3	2.8
<b>30</b>	3.1	3.7	2.8	2.5
<b>35</b>	3	3.8	2.8	2.5
<b>40</b>	3.2	3.9	3.1	2.9
<b>45</b>	3.4	3.5	2.9	2.7
<b>50</b>	3.1	3.3	2.9	2.8
<b>55</b>	2.9	3	3	3
<b>60</b>	2.8	3	3	2.7

**Tabel 7.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 11

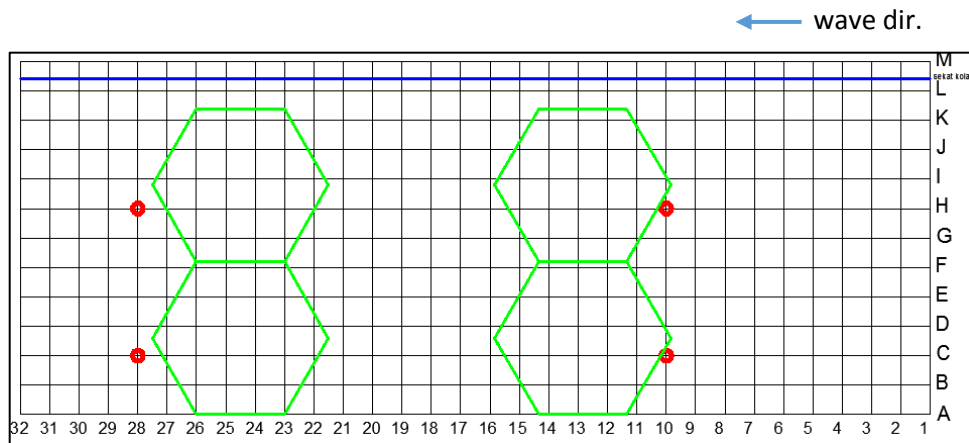
Percobaan Ke 11 (H 11.2 cm T 2.2 detik G 0D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	<b>C9</b>	<b>H9</b>	<b>C22</b>	<b>H22</b>
<b>5</b>	2.8	3.1	2.8	3
<b>10</b>	2.9	3	3	3.5
<b>15</b>	3.1	3.1	3.2	3.2
<b>20</b>	3.4	3.4	3.5	3
<b>25</b>	3	3.2	3.3	2.9
<b>30</b>	3.1	3.3	3.2	3.3
<b>35</b>	3.3	3.1	3.2	3.6
<b>40</b>	3.6	3.3	3.2	3
<b>45</b>	4	3	2.9	3.5
<b>50</b>	3.8	3.1	2.8	3
<b>55</b>	3.5	3.4	2.7	3.3
<b>60</b>	3.3	3.5	2.8	3

## PEMBACAAN KEDALAMAN SCOURING INTERVAL 5 MENIT

Percobaan dengan gelombang reguler dan ireguler untuk jarak gap 1D

C10 dan H10 : Titik ukur berada di depan struktur

C28 dan H 28 : Titik ukur berada di belakang struktur



**Gambar 2.** Lokasi titik ukur untuk jarak gap 1D

**Tabel 8.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 5

Percobaan Ke 5 (H 9.7 cm T 2.0 detik G 1D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	C10	H10	C28	H28
5	3.3	3.4	3.3	3.5
10	3.2	3.3	3.3	3.2
15	3.3	3.3	3.2	3.4
20	3.3	3.4	4	3
25	3.3	3.4	3.3	3.6
30	3.4	3.5	3.4	3.3
35	3.3	3.2	3.6	3.1
40	3.3	3.3	3.9	2.9
45	3.3	3.3	3.5	3
50	3.4	3.3	3.7	3.1
55	3.3	3.1	3.7	3
60	3.5	3.2	3.7	2.8

**Tabel 9.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 6

Percobaan Ke 6 (H 19.5 cm T 2.0 detik G 1D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	<b>C10</b>	<b>H10</b>	<b>C28</b>	<b>H28</b>
<b>5</b>	3.7	3.6	3.2	3.3
<b>10</b>	3.5	4	3.7	3.5
<b>15</b>	3.6	3.8	3.6	3.7
<b>20</b>	3.3	4.3	4	3.6
<b>25</b>	3.6	4	3.7	3.5
<b>30</b>	3.2	3.5	3.5	3.7
<b>35</b>	3.3	3.1	3.2	3.2
<b>40</b>	3.3	3.1	3.5	2.4
<b>45</b>	3.1	3	3.6	2.5
<b>50</b>	3.2	4	2.5	3
<b>55</b>	3	1	2.8	3.4
<b>60</b>	3.6	2.9	3.2	3.8

**Tabel 10.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 7

Percobaan Ke 7 (H 11.3 cm T 4.0 detik G 1D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	<b>C10</b>	<b>H10</b>	<b>C28</b>	<b>H28</b>
<b>5</b>	3.3	3.1	3.3	3.3
<b>10</b>	3.5	2.5	3.6	3.1
<b>15</b>	3.3	3.8	3.5	3.5
<b>20</b>	3	3.2	3.9	2.9
<b>25</b>	3.5	3.3	3.2	3.7
<b>30</b>	3.4	3.5	3.5	3.6
<b>35</b>	3.3	3.4	3.6	3.5
<b>40</b>	3.4	3.5	4.1	2.8
<b>45</b>	3.5	3.5	3.6	3.9
<b>50</b>	3.2	3.7	3.7	3.4
<b>55</b>	3.4	4	4	4.1
<b>60</b>	3.3	4.1	4.3	3.5



**Tabel 11.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 8

Percobaan Ke 8 (H 18.2 cm T 4.0 detik G 1D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	<b>C10</b>	<b>H10</b>	<b>C28</b>	<b>H28</b>
<b>5</b>	3.5	3.6	3.9	4.1
<b>10</b>	3.6	3.5	4.3	3.9
<b>15</b>	3.5	3.4	4.2	4.6
<b>20</b>	3.6	3.4	4.5	5.2
<b>25</b>	3.5	3.2	4.3	5
<b>30</b>	3.6	3.9	4.2	4.5
<b>35</b>	3.7	3.7	4.5	4.3
<b>40</b>	4.1	3.2	4.6	4.2
<b>45</b>	3.9	3.1	4.8	4
<b>50</b>	3.7	3.1	5.1	3.7
<b>55</b>	3.9	3.2	5.1	3.5
<b>60</b>	4.2	3.1	5.3	3.1

**Tabel 12.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 12

Percobaan Ke 12 (H 6.0 cm T 1.9 detik G 1D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	<b>C10</b>	<b>H10</b>	<b>C28</b>	<b>H28</b>
<b>5</b>	2.8	2.6	2.8	2.7
<b>10</b>	2.9	2.7	2.5	2.8
<b>15</b>	2.6	3	2.9	2.7
<b>20</b>	2.7	2.5	2.4	2.6
<b>25</b>	2.5	2.7	2.6	2.3
<b>30</b>	2.7	2.6	2.9	2.6
<b>35</b>	2.6	3	3	2.5
<b>40</b>	2.6	2.7	2.3	2.3
<b>45</b>	2.5	2.3	2.7	2.2
<b>50</b>	2.7	2.7	2.6	2.5
<b>55</b>	2.3	2.4	2.5	2.4
<b>60</b>	2.4	2.5	2.6	2.6

**Tabel 13.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 13

Percobaan Ke 13 (H 8.9 cm T 2.1 detik G 1D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	<b>C10</b>	<b>H10</b>	<b>C28</b>	<b>H28</b>
<b>5</b>	3.1	2.1	2.9	2.5
<b>10</b>	3.3	2	2.9	2.8
<b>15</b>	2.8	2.1	3	2.9
<b>20</b>	2.2	2.5	2.8	2.5
<b>25</b>	2.9	2.3	3	2.2
<b>30</b>	3.1	2.1	2.5	2.6
<b>35</b>	3	2.9	2.1	2.4
<b>40</b>	2.1	2.2	2.3	2.5
<b>45</b>	2.2	2.1	2.4	3
<b>50</b>	3.1	2.4	2.8	2.9
<b>55</b>	2.9	2.4	2.6	3.1
<b>60</b>	2.4	2.3	2.3	2.3

**Tabel 14.** Pencatatan kedalaman scouring untuk percobaan ke 14

Percobaan Ke 14 (H 10.7 cm T 2.0 detik G 1D)				
Menit Ke	Kedalaman Scouring [cm]			
	<b>C10</b>	<b>H10</b>	<b>C28</b>	<b>H28</b>
<b>5</b>	2.4	2.7	2.9	2.6
<b>10</b>	2.5	3.1	3	2.5
<b>15</b>	2.7	3	3	3.1
<b>20</b>	2.9	2.7	3	2.8
<b>25</b>	3.1	2.8	2.6	3.1
<b>30</b>	3	2.7	3	2.9
<b>35</b>	2.8	2.5	2.6	2.8
<b>40</b>	2.2	2.4	2.8	2.5
<b>45</b>	3.2	2.9	3	2.5
<b>50</b>	3.5	3.1	2.8	2.5
<b>55</b>	3.6	3.1	2.8	3
<b>60</b>	2.6	2.6	2.9	2.5

**FOTO TAMPAK SAMPING PENGUJIAN UNTUK JARAK GAP 0D**





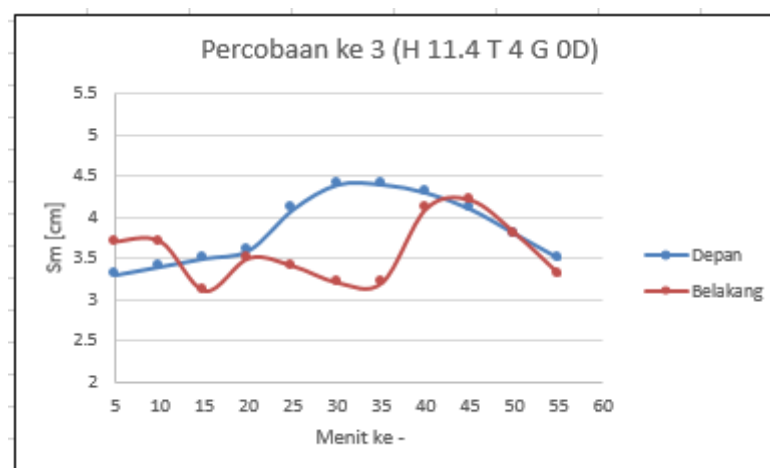
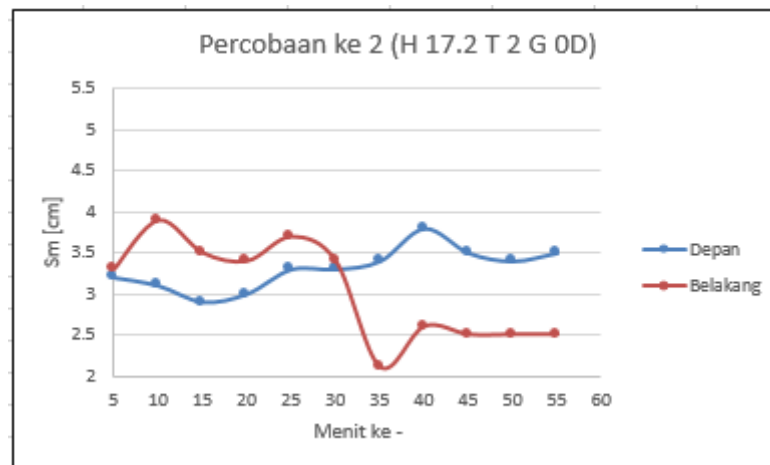
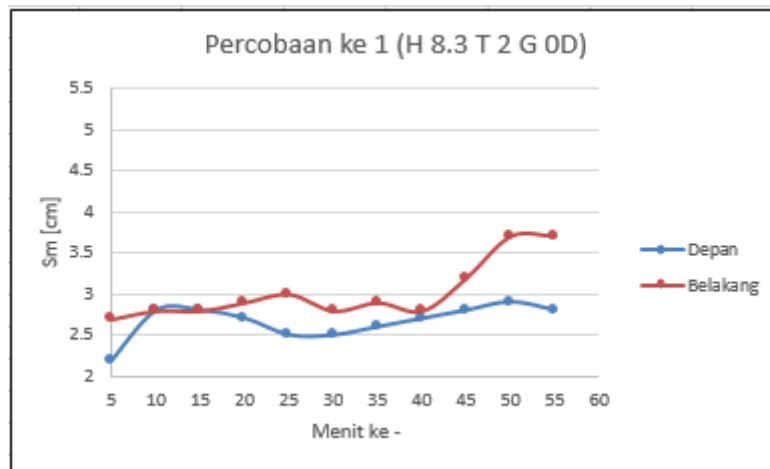




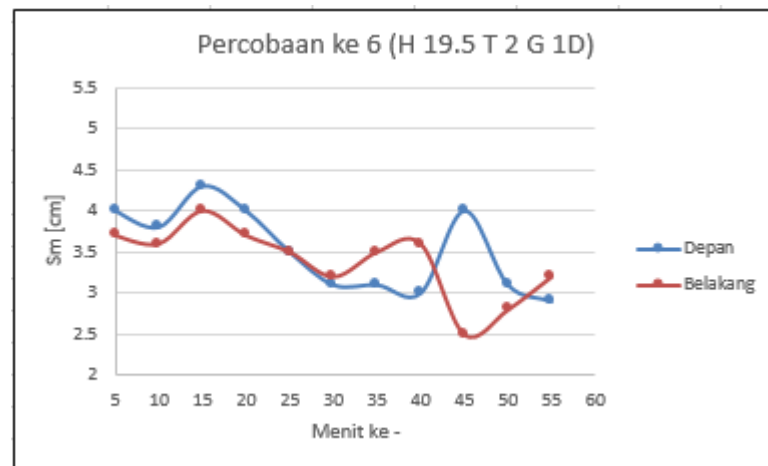
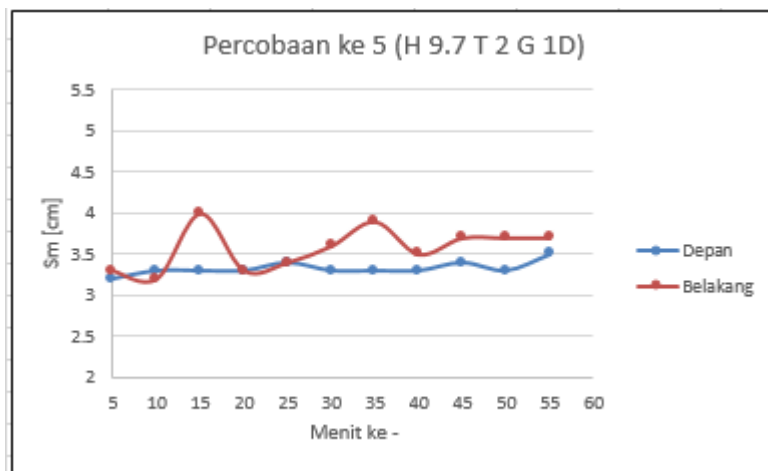
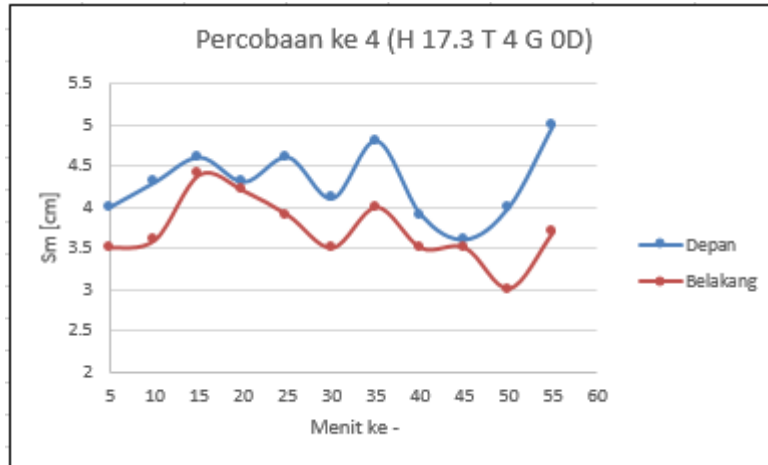


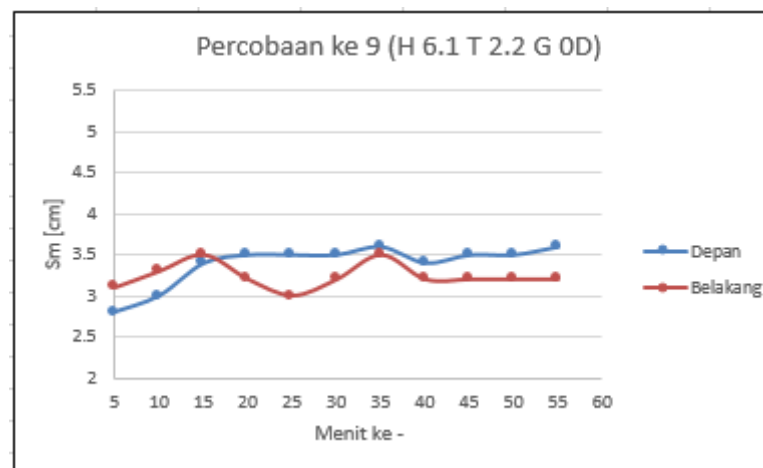
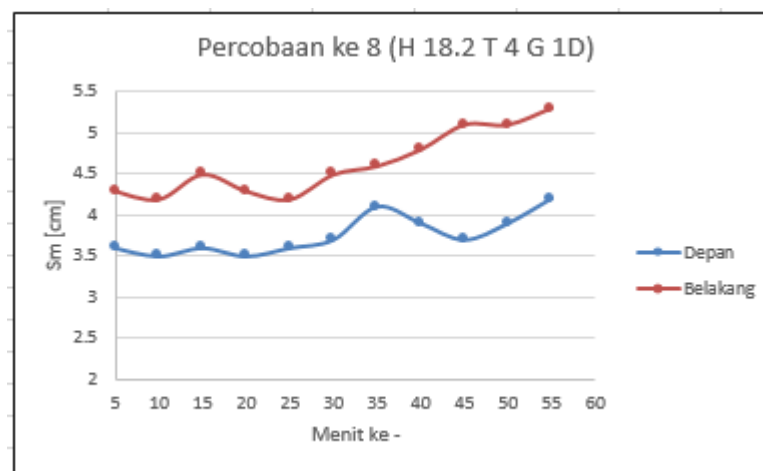
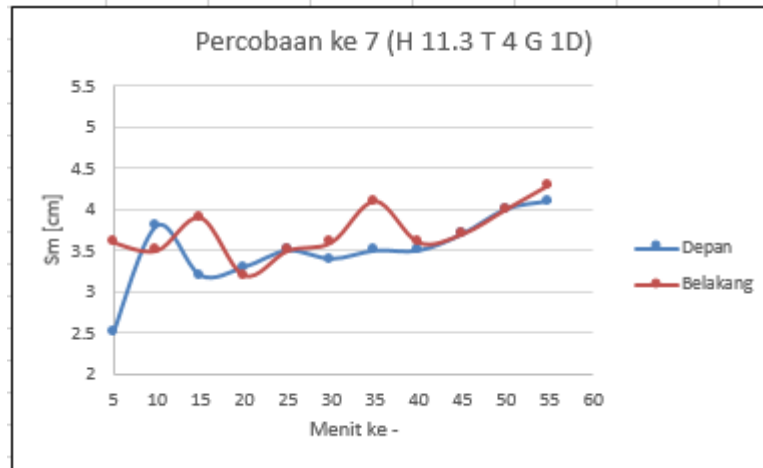


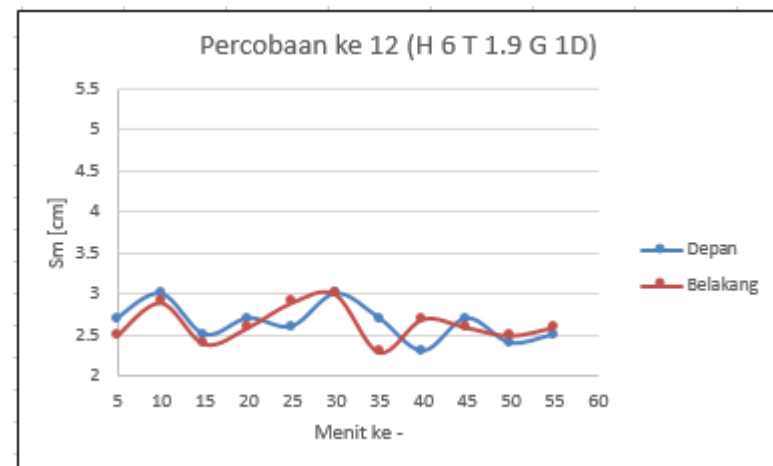
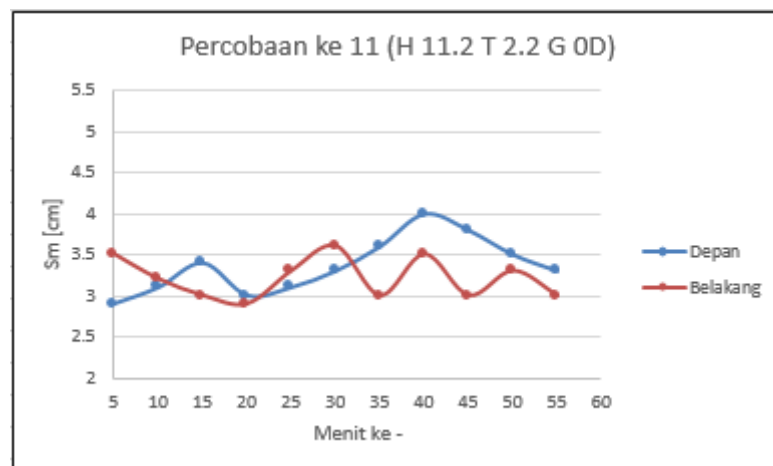
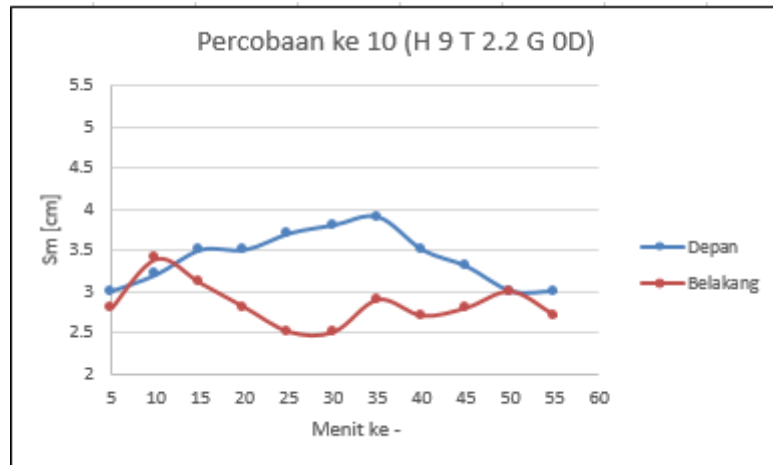
## GRAFIK KEDALAMAN SCOURING MAKSIMUM PER 5 MENIT

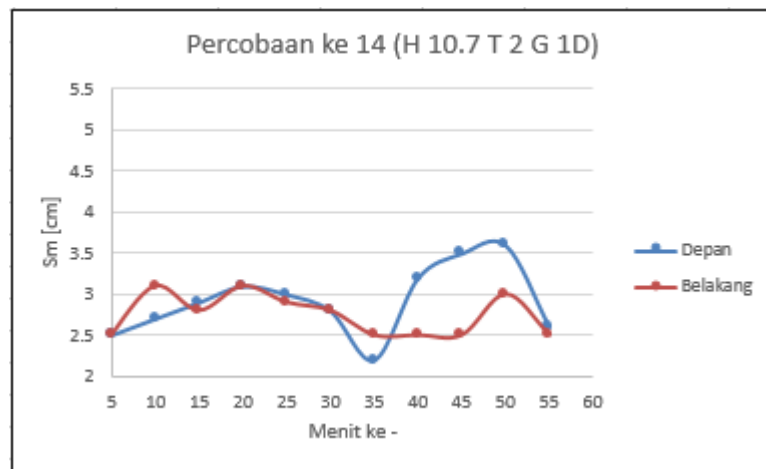
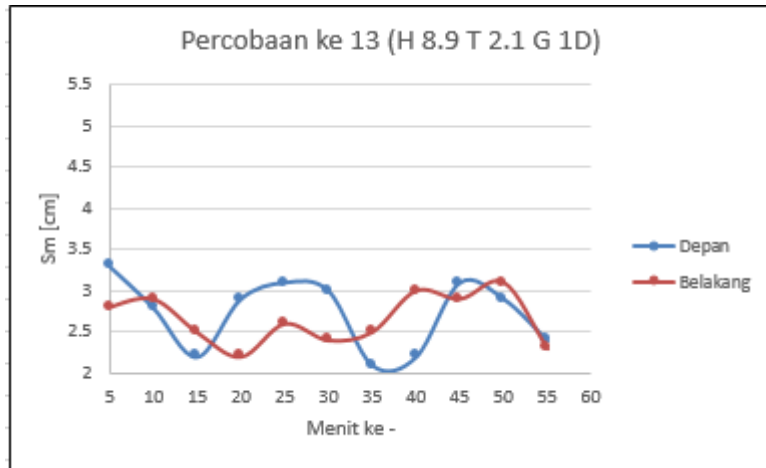












## LAMPIRAN E

### PERHITUNGAN SCOURING MAKSIMUM

Jenis Gelombang	Jarak Gap	Hi [cm]	Ti [s]	Kedalaman Scouring [cm]		W [cm]	Sm/W		h (m)	L (m)	k	sinh(kh)	g*	Parameter		
				Depan	Belakang		Depan	Belakang						KC	$\psi$	$KC(\psi)^{0.5}$
Regular	0D	8.3	2.0	2.9	3.7	37	0.078	0.100	0.3	3.251	1.933	0.613	16.19	0.71	10.10	2.25
		17.2	2.0	3.8	3.9	37	0.103	0.105	0.3	3.251	1.933	0.613	16.19	1.46	43.03	9.58
		11.4	4.0	4.4	4.2	37	0.119	0.114	0.295	6.645	0.946	0.283	16.19	0.97	22.54	4.59
		17.3	4.0	5	4.4	37	0.135	0.119	0.295	6.645	0.946	0.283	16.19	1.47	52.31	10.64
	1D	9.7	2.0	3.5	4	30.83	0.114	0.130	0.29	3.202	1.962	0.600	16.19	0.99	14.23	3.72
		19.5	2.0	4.3	4	30.83	0.139	0.130	0.29	3.202	1.962	0.600	16.19	1.98	57.47	15.04
		11.3	4.0	4.1	4.3	30.83	0.133	0.139	0.29	6.590	0.954	0.280	16.19	1.15	22.69	5.49
		18.2	4.0	4.2	5.3	30.83	0.136	0.172	0.29	6.590	0.954	0.280	16.19	1.85	58.64	14.19
Irregular	0D	6.1	2.2	3.6	3.5	37	0.097	0.095	0.3	3.627	1.732	0.543	16.19	0.52	5.70	1.24
		9.0	2.2	3.9	3.4	37	0.105	0.092	0.3	3.547	1.771	0.557	16.19	0.76	12.19	2.67
		11.2	2.2	4	3.6	37	0.108	0.097	0.295	3.520	1.785	0.551	16.19	0.95	19.20	4.16
	1D	6.0	1.9	3	3	30.83	0.097	0.097	0.295	2.973	2.113	0.665	16.19	0.61	5.12	1.38
		8.9	2.1	3.3	3.1	30.83	0.107	0.101	0.295	3.442	1.826	0.565	16.19	0.90	11.95	3.12
		10.7	2.0	3.6	3.1	30.83	0.117	0.101	0.295	3.296	1.906	0.592	16.19	1.09	17.16	4.52

$g^*$  merupakan gaya gravitasi yang tereduksi,  $g^* = g(s-1) = g(\rho_s/\rho - 1)$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BIODATA PENULIS



**Harish Wirayuhanto** dilahirkan di Surabaya, 26 Agustus 1994, merupakan anak ke dua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Rungkut Surabaya, SDK Santa Maria Surabaya, SMP Santa Maria Surabaya, dan SMA Santa Maria Surabaya. Setelah lulus dari SMA Santa Maria Surabaya tahun 2012, penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 4312100050. Di Jurusan Teknik Kelautan, penulis mengambil bidang studi Rekayasa Perlindungan Pantai (*Coastal Engineering*). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di beberapa kegiatan kemahasiswaan, seperti Ketua divisi klub dan komunitas Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA) tahun 2014-2015 dan ketua asisten Laboratorium Pantai dan Lingkungan Laut tahun 2014-2015 dan 2015-2016. Selama kuliah, penulis melakukan kerja praktek selama 2 bulan di PT. Idros Services (Jan De Nul Group) dengan membahas mengenai perbaikan dan perawatan dredger vessel serta analisa kekuatan struktur A-frame DN202. Apabila ingin menanyakan mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi saya pada alamat email [hwirayuhanto@gmail.com](mailto:hwirayuhanto@gmail.com).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)